

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA AMBIENTAL

TEMA:
ESTIMACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LAS VERTIENTES ANEXAS A LA PARROQUIA DE CANGAHUA SUJETAS A LA INTERVENCIÓN DEL PROYECTO DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE PISAMBILLA, QUE GARANTICE LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL DE LA ZONA.

AUTORA:
NADIA PAULINA CARRASCO SÁNCHEZ

DIRECTORA:
PAOLA JACKELINE DUQUE SARANGO

Quito, noviembre del 2014

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de la autora.

Quito, noviembre del 2014.

Nadia Paulina Carrasco Sánchez

C.I. 0202066684

DEDICATORIA

Dedico éste trabajo de titulación a mis padres Teresa y Jorge, quienes han sido parte fundamental para la culminación de mi carrera universitaria, y por inculcar en mí el valor de la perseverancia.

A mi hermana por su apoyo, paciencia, complicidad y amor

A mi cuñado Paulo, por ser un hermano más, por el apoyo, cariño, consejos y preocupación todo este tiempo.

A mis hermanos Jorge y Gabriel, por ser un ejemplo más a seguir.

A todos mis sobrinos por alegrarme los días con sus bromas y alegría, porque hicieron que los días difíciles queden en segundo plano.

A mi querida amiga Kathy y a su familia, por abrirme las puertas de su hogar y permitirme ser parte de su vida.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana, por la formación académica que he recibido, a todos los docentes de la carrera que han impartido sus conocimientos.

Al ingeniero Renato Sánchez quien ha sido una ayuda muy importante en el desarrollo de este trabajo.

Quiero agradecer a la Msc. Paola Duque, por la paciencia, predisposición, quien ha guiado e impartido sus conocimientos para culminación de este trabajo de grado.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1.....	3
INTRODUCCIÓN AL TEMA	3
1.1.Planteamiento del problema	3
1.2. Objetivos de la investigación.....	3
1.3. Justificación del proyecto	4
1.4. Definición de términos	6
CAPÍTULO 2.....	8
BASE LEGAL.....	8
2.1 Antecedentes.....	8
2.2. Constitución de la República del Ecuador, publicada en el Registro Oficial N° 449 del lunes 20 de Octubre del 2008.	10
2.3. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del Agua. Publicada el 31 de julio del 2014.....	11
2.4. Ley Orgánica Reformatoria al Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD). (R.O. N° 166 publicada el Martes 21 de Enero de 2014).	12
2.5. Ley de Gestión Ambiental. Codificación 2004-019. Publicada en el Suplemento del Registro Oficial N° 418, 10 de Septiembre del 2004.....	13
El ente regulador del cumplimiento de esta Ley, es el Ministerio del Ambiente, quien es que regula de manera indirecta el recurso hídrico. Se presentan los siguientes artículos:	13
CAPÍTULO 3.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
3.1. Antecedentes.....	15
3.2. El Páramo: Prestador de Servicios	16
3.3. Páramo y caudal ecológico	17
3.4. Definición de caudal ecológico	18
3.5. Régimen de caudales ecológicos	20

3.5.1. Clases de régimen de caudales naturales.	20
3.5.2. Componentes del régimen del caudal ecológico.	21
3.6. Balance hídrico en cuencas hidrográficas	22
3.6.1. Definición de cuenca hidrográfica.	22
3.6.1.1. Clasificación de una cuenca hidrográfica de acuerdo al área.	23
3.6.2. Ciclo hidrológico.	24
3.6.2.1. Componentes del ciclo hidrológico.	25
3.6.3. Balance hídrico.	31
3.7. Metodologías para determinar el caudal ecológico	32
3.7.1. Métodos hidrológicos.	33
3.7.1.1. Método de Hoppe.	34
3.7.1.2. Método de caudal base de 7 días con período de ocurrencia de 10 años (7Q10).	34
3.7.1.3. Método suizo.	34
3.7.1.4. Método de Curva de Permanencia.	35
3.7.1.5. Método de Tennant o Montana.	36
3.7.2. Métodos hidráulicos.	36
3.7.2.1. Método del perímetro mojado.	37
3.7.2.2. Método Toe-Width Washington o método de múltiples secciones transversales.	38
3.7.3. Método hidrobiológico o simulación de hábitat.	38
3.7.3.1. Método IFIM - PHABSIM (Instream Flow Incremental Methodology).	38
3.7.3.2. Método Vasco.	39
3.7.4. Metodología holística.	39
3.7.4.1. Método de Building Block - Aproximación Bottom-up.	39
3.7.4.2. Método BBM (Building Block Methodology).	40
3.8. Sistemas de información geográfica.	40
CAPÍTULO 4.	41
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	41
4.1. Información general de la microcuenca.	41
4.1.1. Ubicación.	41
4.2. Medio físico	42
4.2.1. Meteorología.	42

4.2.1.1. Precipitación.	43
4.2.1.2. Temperatura.	46
4.2.1.3. Viento.	47
4.2.2. <i>Hidrología.</i>	48
4.2.2.1. Descripción de la hidrología en el área de estudio.	48
4.2.3. <i>Clima.</i>	49
4.2.4. <i>Geología.</i>	49
4.2.4.1. Litología.	50
4.2.5. <i>Uso de suelo.</i>	50
4.3. Medio biótico.	51
4.3.1. <i>Zonas ecológicas.</i>	51
4.3.2. <i>Flora.</i>	51
4.3.3. <i>Fauna.</i>	54
4.4. Medio social	54
4.4.1. <i>Demografía.</i>	54
4.4.2. <i>Servicios básicos.</i>	58
CAPÍTULO 5.	61
MÉTODOS Y CÁLCULOS.	61
5.1. Recopilación de información.	61
5.1.1. <i>Información cartográfica</i>	61
5.1.2. <i>Información meteorológica.</i>	61
5.2. Relleno de datos faltantes	62
5.2.1. <i>Correlación lineal entre la estación Victoria Inheri (M009) y la estación Cangahua (M344).</i>	64
5.2.2. <i>Correlación lineal entre la estación Papallacta (M188) y la estación Cuyuja (M436).</i>	65
5.3. Parámetros morfológicos de la microcuenca.	66
5.3.1. <i>Delimitación de la microcuenca.</i>	66
5.3.2. <i>Morfología de la microcuenca.</i>	69
5.3.2.1. Área (A).	69
5.3.2.2. Perímetro (P).	70
5.3.2.3. Longitud axial (La).	70
5.3.2.4. Ancho total (Wt).	71

5.3.2.5. Ancho promedio (W_p).....	71
5.3.2.6. Factor de forma (K_f).....	72
5.3.2.7. Coeficiente de compacidad (K_c).	73
5.4. Cálculo del caudal ecológico.....	75
5.4.1. <i>Precipitación</i>	75
5.4.1.1. Precipitación media.	76
5.4.1.1.1. Media aritmética.....	77
5.4.1.1.2. Método Isoyetas.....	83
5.4.1.1.3. Método de Thiessen.....	87
5.4.1.2. <i>Análisis de la precipitación media</i>	90
5.4.2 <i>Evapotranspiración</i>	91
5.4.2.1. Mapa de evapotranspiración a nivel nacional.....	92
5.4.2.2. Evapotranspiración de acuerdo a Turc.	93
5.4.2.3. Evapotranspiración a través de investigaciones bibliográficas.	94
5.4.3. <i>Aportación hídrica en la microcuenca</i>	95
5.4.4. Requerimiento hídrico de la vegetación (Q_e).....	96
5.5. Balance hídrico general	97
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	100
LISTA DE REFERENCIAS	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Jerarquías de las bases legales.....	8
Figura 2. Componentes del régimen del caudal ecológico.....	22
Figura 3. Proceso del ciclo hidrológico.....	24
Figura 4. Ciclo hidrológico como sistema.....	25
Figura 5. Representación de la curva de permanencia.....	35
Figura 6. Representación de la curva de perímetro mojado frente al caudal.....	37
Figura 7. Histograma de precipitaciones media mensual multianual para las estaciones seleccionadas.....	44
Figura 8. Histograma de precipitaciones anuales por estación meteorológica.....	45
Figura 9. Temperatura media mensual estación Victoria Inheri.....	47
Figura 10. Rosa de los Vientos estación Victoria Inheri.....	48
Figura 11. Población total cantón Cayambe.....	56
Figura 12. Grupos de edades de la comunidad Pisambilla.....	57
Figura 13. Procedencia de agua en la parroquia de Cangahua.....	58
Figura 14. Energía eléctrica en la parroquia Cangahua.....	59
Figura 15. Eliminación de basura en la parroquia de Cangahua.....	60
Figura 16. Tipo de vivienda en la parroquia de Cangahua.....	60
Figura 17. Ejemplo de correlación lineal.....	63
Figura 18. Metodología para el relleno de datos de precipitación.....	64
Figura 19. Correlación lineal de Pearson Victoria Inheri frente a Cangahua.....	65
Figura 20. Correlación lineal de Pearson Papallacta frente a Cuyuja.....	66
Figura 21. Delimitación de la microcuenca hidrográfica utilizando el software Arcgis V10.....	68
Figura 22. Área total de la microcuenca hidrográfica.....	70
Figura 23. Longitud axial de la microcuenca hidrográfica.....	71
Figura 24. Ancho de la microcuenca hidrográfica.....	71
Figura 25. Metodología aplicada para determinar la precipitación media en la microcuenca en estudio.....	76
Figura 26: Distancias en Km de las estaciones meteorológicas al área de estudio.....	81
Figura 27. Valores de Isoyetas a escala nacional.....	84
Figura 28. Superposición de la microcuenca en estudio a las Isoyetas a nivel nacional.....	85
Figura 29. Generación de Isoyetas en el área de estudio.....	85

Figura 30. Generación de áreas a partir del método de Thiessen.	88
Figura 31. Metodología aplicada para la determinación de la evapotranspiración en el área de estudio	92
Figura 32. Evapotranspiración anual en el área de estudio	93
Figura 33. Área de aportación hídrica a la microcuenca	95
Figura 34: Metodología general utilizada para determinar el Q_e en la zona de estudio.	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Denominaciones y definiciones de caudal ecológico	19
Tabla 2. Clasificación de una cuenca hidrográfica de acuerdo al área.....	23
Tabla 3. Ingresos y pérdidas físicas de una cuenca hidrográfica.....	32
Tabla 4. Percentiles usados para la metodología de Hoppe	34
Tabla 5. Porcentaje óptimo para el caudal anual mensual.....	36
Tabla 6. Coordenadas de la ubicación del proyecto	41
Tabla 7. Aportación hídrica de las vertientes para el proyecto de riego en Pisambilla..	42
Tabla 8. Estaciones meteorológicas en el estudio.	43
Tabla 9. Precipitación Multianual (mm) para las estaciones seleccionadas.....	44
Tabla 10. Temperatura anual (°C) para la estación Victoria Inheri.....	46
Tabla 11. Velocidad del viento (m/s); estación Victoria Inheri	47
Tabla 12. Flora sector área de estudio	52
Tabla 13. Términos utilizados para el análisis del medio social	54
Tabla 14. Población total cantón Cayambe	55
Tabla 15. Población beneficiada: Pisambilla 2013.....	56
Tabla 16. Grupos étnicos (%) de la comunidad de Pisambilla.....	58
Tabla 17. Estaciones meteorológicas seleccionadas.....	62
Tabla 18. Correlación lineal Victoria Inheri frente a Cangahua.....	64
Tabla 19. Correlación lineal Papallacta frente a Cuyuja	65
Tabla 20. Factor de forma de las cuencas y microcuencas hidrográficas.....	73
Tabla 21. Coeficiente de compacidad para una cuenca ó microcuenca hidrográfica.....	73
Tabla 22. Parámetros morfométricos obtenidos	75
Tabla 23. Precipitación media (mm) de las 3 estaciones seleccionadas para el estudio	77
Tabla 24. Desviaciones estándar y 2 veces desviación estándar para la estación Victoria Inheri.....	79
Tabla 25. Desviaciones estándar y 2 veces desviación estándar para la estación Cangahua	79
Tabla 26. Desviaciones estándar y 2 veces desviación estándar para la estación Cuyuja	80
Tabla 27. Factores de ponderación para cada estación meteorológica.....	81
Tabla 28. Valores de precipitación ponderados para las estaciones meteorológicas seleccionadas.	82

Tabla 29. Valores de precipitación (mm) para cada mes por el método de la media aritmética y métodos estadísticos	83
Tabla 30. Cálculo de la precipitación media (mm) por el método de las Isoyetas	86
Tabla 31. Precipitación media (mm) por el método de Thiessen	89
Tabla 32. Aportación hídrica mensual a la microcuenca.....	96

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Precipitación media método de Isoyetas.....	26
Ecuación 2. Precipitación método media aritmética	27
Ecuación 3. Precipitación Media Método de Thiessen.....	27
Ecuación 4. Evapotranspiración Método de Thornthwaite	29
Ecuación 5. Evapotranspiración Formula de Turc	30
Ecuación 6. Evapotranspiración Fórmula Blaney-Criddle	30
Ecuación 7. Balance Hídrico General.....	31
Ecuación 8. Balance Hídrico Simplificado.....	32
Ecuación 9. Calculo de caudal ecológico método Suizo	35
Ecuación 10: Ancho Promedio de la Microcuenca Hidrográfica.....	72
Ecuación 11: Factor de Forma de una Microcuenca	72
Ecuación 12. Coeficiente de compacidad.....	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1. Mapa ubicación geográfica de la zona de estudio.	105
Anexos 2. Mapa ubicación del proyecto de riego Pisambilla	106
Anexos 3. Ubicación estaciones meteorológicas.....	107
Anexos 4. Datos meteorológicos de precipitación para las estaciones M009, M344, y M436.....	108
Anexos 5. Mapa de Isoyetas de la zona de estudio.	111
Anexos 6. Temperatura media mensual estación Victoria Inheri.....	112
Anexos 7. Mapa de Isotermas en la zona de estudio	113
Anexos 8. Mapa de la red hidrográfica en la zona de estudio.	114
Anexos 9. Climatología de la zona de estudio.	115
Anexos 10. Geología de la zona de estudio.....	116
Anexos 11. Litología de la zona de estudio.....	117
Anexos 12. Uso de suelo en la parroquia de Cangahua.....	118
Anexos 13. Zona ecológica en la zona de estudio	119

RESUMEN

Los caudales ecológicos y su determinación, representan temas significativos dentro del manejo sustentable del recurso hídrico, así como también en el ordenamiento integrado de las cuencas hidrográficas.

El presente estudio, parte del proyecto de sistema de riego, que se encuentra ubicado en la comunidad de Pisambilla, cantón Cayambe, en la zona páramo del sector, en el cual se evalúan factores climáticos y ecosistémicos, con la finalidad de definir un caudal ecológico, que cumpla con los requerimientos necesarios para minimizar los impactos ambientales negativos como la reducción del recurso hídrico y las alteraciones en el comportamiento de la vegetación natural, como resultado a la ejecución del proyecto de sistema de riego.

Cabe señalar que en varios estudios, los caudales ecológicos han sido definidos a partir del caudal presente en un río. La determinación del caudal ecológico sustentable para el proyecto de riego en la comunidad de Pisambilla se define a partir de vertientes que serán utilizadas para abastecer de manera directa éste proyecto.

El páramo de ésta comunidad se abastece principalmente del agua que proviene de las vertientes, es por esta razón que se plantea una metodología que consiste en el tratamiento de datos meteorológicos, manejo de información cartográfica, el balance hídrico de la microcuenca, los requerimientos hídricos de la zona y de la vegetación propia del páramo, acorde a las características e información disponible en la zona.

Finalmente se determinó un caudal ecológico con un valor de 376,5 l/s, que consiste en el requerimiento hídrico, necesario para mantener las características bioclimáticas inalteradas.

ABSTRACT

The use of water resources is one of the factors that influence directly in the economic growth of the population, the preservation of ecosystems, biodiversity; hence the importance of sound management of this resource.

This study, part of the irrigation project, which is located in the community of Pisambilla canton Cayambe in the wilderness area of the sector, in which climatic factors and ecosystem are evaluated, in order to define an ecological flow that meets the requirements necessary to minimize negative environmental impacts such as the reduction of water resources and changes in the behavior of the natural vegetation as a result of the implementation of the proposed irrigation system.

Note that in several studies, environmental flows have been defined from the flow present in a river. The determination of sustainable ecological flow for irrigation project in the community of Pisambilla defined from sides that will be used to supply this project directly.

The wilderness of this community is mainly supplied the water from the springs, it is for this reason that a methodology that involves treatment of meteorological data handling map data, the water balance of the watershed, water requirements arises zone and moorland vegetation, according to the characteristics and information available in the area.

Finally an environmental flow with a value of 376.5 l / s , which is the water requirement necessary to maintain biotic characteristics unchanged determined.

INTRODUCCIÓN

El uso del recurso hídrico, es uno de los factores que influyen de manera directa en el crecimiento económico de la población, la preservación de los ecosistemas, de la biodiversidad; de ahí la importancia del manejo racional del recurso.

Sin embargo, la demanda del capital natural se ha incrementado paulatinamente, de manera especial en el ecosistema páramo, como resultado de las actividades agrícolas y pecuarias desarrolladas en las zonas altas de las montañas, las cuales cumplen una función importante en el desarrollo económico y social para las comunidades dedicadas a dichas actividades.

Por tal razón se considera al páramo, como uno de los sistemas más importantes para la regulación, almacenamiento y distribución del recurso hídrico.

Principalmente en Ecuador, el páramo abastece de agua a las comunidades y a los sectores bajos de la montaña. Éste abastecimiento es requerido para generar el desarrollo de las actividades propias del sector a través de sistemas de riego.

Adicionalmente, se conoce que cada actividad antrópica que interfiera con el desarrollo normal de los ecosistemas genera impactos ambientales negativos, y más aun si se trata de actividades que se relacionen con la disminución del recurso más importante para el desarrollo de la vida humana, animal y vegetal. (Sánchez R. , 2013).

Es aquí donde nace un término importante para la preservación de los ecosistemas conocido como caudal ecológico; el cual permite mantener las condiciones normales de los ecosistemas y por ende la sostenibilidad de la misma. En cuanto a su determinación, se realiza a través de metodologías establecidas en otros países, pero que se ajustan a las condiciones físicas, morfológicas, hidrológicas del entorno.

En nuestro país la determinación del caudal ecológico mediante una metodología propia no existe; sin embargo, se puede aplicar metodologías de otros países o tomar parte de éstas para conocer un caudal ecológico, partiendo siempre de las condiciones climáticas, ambientales que son características de una región.

En este trabajo se determinará un caudal ecológico, partiendo de la información presente en el área de estudio de la comunidad de Pisambilla, y considerando principalmente la conservación del recurso hídrico, tal que no altere las condiciones de desarrollo necesarias de la vegetación natural.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN AL TEMA

Éste capítulo hace referencia al planteamiento del problema, objetivos del trabajo, justificación en la que se sustenta el estudio, y finalmente una definición de los términos más utilizados.

1.1. Planteamiento del problema

Las actividades económicas rurales en general y particularmente las agropecuarias, constantemente toman mayor fuerza debido a que la producción agrícola crece acorde a las necesidades del sector productivo, mejorando el nivel económico y por ende, la calidad de vida de las comunidades dedicadas a esta actividad.

El crecimiento de la producción, ha generado la necesidad del uso excesivo del recurso hídrico sin pensar en las consecuencias que esto ocasiona, puesto que conlleva a una reducción de la calidad de los ecosistemas que se ubican en las depresiones y en las partes altas de las montañas.

Una de las implicaciones del proyecto de sistema de riego para la comunidad de Pisambilla, es la distribución inadecuada del agua, debido al crecimiento de la frontera agrícola, a la inequidad en la propiedad de tierras, disputa de terrenos, la carencia de políticas locales específicas para la conservación del agua; siendo los factores más relevantes que conllevan a la disminución del capital natural (el agua), que proviene principalmente de las vertientes.

Tomando en cuenta este impacto ambiental, durante la implementación del proyecto de riego, se ha considerado la preservación de los sistemas hídricos en su estado natural.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general.

Determinar el caudal ecológico del proyecto de sistema de riego para la comunidad de Pisambilla, cantón Cayambe, provincia Pichincha.

1.2.2. Objetivos específicos.

- ❖ Recolectar información física, biótica y social necesaria para la determinación del caudal ecológico.
- ❖ Obtener información bibliográfica de las variables y metodologías comprendidas dentro de la determinación del caudal ecológico.
- ❖ Determinar una metodología general para la estimación del Caudal Ecológico aplicable para la zona.
- ❖ Determinar el caudal ecológico específico en el proyecto de estudio.

1.3. Justificación del proyecto

El agua constituye un recurso muy importante que es utilizado a nivel nacional para diferentes usos, tales como: consumo humano, uso agrícola y para sistemas de generación de energía eléctrica. (Mena, Josse, & Medina, 2000, págs. 5-6).

En Ecuador, la mayoría del recurso hídrico, proviene de las vertientes principalmente de los páramos andinos, que son usadas para el abastecimiento de las comunidades que se encuentran consolidadas en los sectores bajos de la región andina. (Mena, Josse, & Medina, 2000, pág. 23).

Actualmente, la totalidad de agua para riego usada en la región, es proporcionada por el ecosistema páramo.

Cabe recalcar, que los sistemas de riego en las cordilleras es una práctica ancestral, manejada adecuadamente y dando prioridad al “ piso ecológico de altura ” (Mena, et. al, 2008, pág. 15).

Históricamente, en éste piso se desarrollaron diferentes actividades como siembra y caza, teniendo en cuenta la importancia de la conservación del entorno natural; sin embargo a raíz de la conquista española y la intervención de nuevas prácticas de uso de suelo, sumado a la introducción de ganado bovino y ovino, los ecosistemas y microecosistemas de los sectores altos del páramo, se vieron afectados paulatinamente.

Esto podría deberse a que antiguamente la preservación del medio ambiente como tal, no era relevante y las actividades agrícolas en el sector no eran intensivas, tomando en cuenta que la población posesionada en estas partes eran muy pocas. (Mena, et. al, 2011, pág. 34).

De acuerdo con EcoCiencia, 2001; “En el país existían 1’599.989,4 ha. de páramo, que correspondía al 6,2% del territorio nacional. Actualmente existen 1’309.764,2 ha”. (Mena, et. al, 2008, pág. 103).

La disminución de la superficie del ecosistema paramuno, se debe a la extensión de la frontera agrícola y a las actividades propias de la serranía, como el pastoreo intensivo, la quema de vegetación nativa, y por ende su degradación, además de la introducción de árboles como los pinos (los mismos que asimilan grandes cantidades de agua); de manera que la demanda del recurso hídrico va en aumento, con la finalidad de cubrir estas actividades. Teniendo como resultado el manejo inadecuado de éste, excluyendo así la sustentabilidad del mismo; por esta razón, es necesario generar un estudio para que este recurso sea utilizado de manera correcta y que mantenga en equilibrio hídrico y ambiental.

Por otra parte, los sistemas de uso de agua, principalmente los de riego, poseen un uso intensivo de los recursos hídricos disponibles de fuentes naturales que en este caso son vertientes. Los ecosistemas del sector de Pisambilla, han usado el recurso de agua natural durante varios años y sus ecosistemas, se han adaptado a la cantidad de agua suministrada por estas vertientes.

El proyecto de riego en la comunidad de Pisambilla, se realiza con la necesidad de mejorar la productividad agrícola de la comunidad y por lo tanto el ingreso económico de sus habitantes, considerando para ello el cuidado al medio ambiente a través de un diseño de riego, que permita minimizar los impactos hacia el mismo.

No obstante, el proyecto de aprovechamiento de agua para riego, disminuye la cantidad de agua que anteriormente era proporcionada al ecosistema, lo que genera problemas en cuanto a su estabilidad y conservación.

Por tal razón, que se considera necesaria la realización de un estudio que permita la conservación de un caudal mínimo llamado "ecológico", que garantice la sustentabilidad de los ecosistemas y la sostenibilidad productiva de la zona de Pisambilla.

La determinación de una metodología para este estudio, resultará útil no solo para la zona de Pisambilla, sino también para las demás zonas que tengan similares o las mismas propiedades geo-hidrológicas de la zona en estudio.

1.4. Definición de términos

- **Caudal ecológico:** Cantidad necesaria de agua de un cauce; capaz de mantener el hábitat del recurso hídrico y funciones ambientales en condiciones saludables.
- **Ecosistema:** Es un sistema natural vivo el cual está conformado por organismos vivos, los mismos que interactúan con el medio abiótico. También se conoce al ecosistema como la unidad donde los organismos interdependientes comparten un mismo hábitat.
- **Microcuencas:** Las microcuencas son unidades hidrológicas pequeñas, donde se originan quebradas y riachuelos que drenan de las laderas y pendientes altas. Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca y se inician en la naciente de los pequeños cursos de agua, uniéndose a las otras corrientes hasta constituirse en la cuenca hidrográfica de un río de gran tamaño.
- **Páramo:** Ecosistemas constituidos en las partes altas de la cordillera de los Andes; y que constantemente están sometidos a cambios por las actividades humanas.

- **Sostenible:** Son acciones e ideas dirigidas a mantener el equilibrio, social, ambiental y económico de una población; precautelando el bienestar de los bienes y servicios que brinda la naturaleza a las generaciones futuras.

CAPÍTULO 2

BASE LEGAL

En el presente capítulo se mencionan varios artículos de los diferentes cuerpos legales, que hacen referencia al tema planteado, así como también se realiza un breve análisis enfatizando los artículos más importantes dentro del tema.

2.1 Antecedentes

La base legal en el que se sustenta este trabajo, se ampara principalmente en la Constitución de la República del Ecuador y demás cuerpos legales presentes en el país. A partir de ello, se representa a través de la pirámide de Kelsen, la jerarquía de las bases legales adaptadas al País. (Kelsen, 1982, págs. 349-353)

La pirámide se encuentra encabezada por la Constitución de la República del Ecuador, seguida de leyes orgánicas, ordinarias entre otras, ubicada de acuerdo a la relevancia de las mismas.

En la siguiente figura se representa a la Pirámide de Kelsen:

Figura 1. Jerarquías de las bases legales



Fuente:Kelsen, 1982.

Antes de iniciar con el análisis del marco legal en el que se sustenta la elaboración del presente trabajo de titulación, se realiza un recuento breve del concepto de caudal ecológico en nuestro país.

Es así que, se introduce éste término por primera vez en el país a través del Acuerdo Ministerial No.155 (R.O. 41 del 14 de marzo de 2007), como Norma Técnica Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental para los sectores de infraestructura: eléctrico, telecomunicaciones y transporte (puertos y aeropuertos).

La misma que, en su apartado 2.2 referentes a definiciones, suscribe al caudal ecológico como:

El caudal de agua que debe mantenerse en un sector hidrográfico del río, para la conservación y mantenimiento de los ecosistemas, la biodiversidad y calidad del medio fluvial y para asegurar los usos consuntivos y no consuntivos del recurso, aguas abajo en el área de influencia de una central hidroeléctrica y su embalse, donde sea aplicable. El caudal ecológico debe ser representativo del régimen natural del río y mantener las características paisajísticas del medio. (Acuerdo Ministerial N° 155, 2007, pág. 11).

Sin embargo, la definición únicamente hace referencia a centrales hidroeléctricas, y la introducción del caudal ecológico sirvió para minimizar los impactos ambientales que generan las construcciones. En un principio, se tomó al caudal ecológico como el 10 % de caudal medio anual. Adicionalmente, la Norma evalúa solo las condiciones físicas y químicas del río, y no considera un enfoque global de los ecosistemas y microecosistemas presentes.

Considerando los estudios actuales sobre éste tema, se debe hacer referencia a la cuenca hidrográfica como parte de la determinación del caudal ecológico, por ser donde se contempla de manera integral los procesos sociales, económicos, culturales, ambientales, y físicos de un río.

A continuación se analizan los artículos relacionados al tema tratado:

2.2. Constitución de la República del Ecuador, publicada en el Registro Oficial N° 449 del lunes 20 de Octubre del 2008.

Dentro de la Constitución, encontramos varios artículos referentes a caudales ecológicos. A continuación se enumeran los que tienen relación directa y convexa con el mismo:

El capítulo segundo, de los Derechos del Buen Vivir, art.12, hace referencia que, "el derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público es inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida".

En este sentido, se declara al agua como parte pública, la cual es parte fundamental para el desarrollo de la vida. Adicionalmente, se presenta el art. 14 del derecho al buen vivir o "Sumak Kawsay".

Es importante recalcar que la Constitución de la República, integra un nuevo término en su ley, que es el derecho al "buen vivir"; considerado como la sinergia entre las actividades humanas y la sostenibilidad del medio ambiente; y manteniendo la garantía de los derechos a la Naturaleza.

Así mismo, en el capítulo séptimo se enfatiza los artículos relacionados a los "Derechos de la Naturaleza": art 71, 72,73, 74, y 83.

Estos artículos, tienen un término en común: "El Estado", el mismo que será el responsable de velar por los derechos, respeto, restauración, sostenibilidad ecológica, y servicios ambientales de la Naturaleza.

Así mismo se regulará el uso y manejo de agua para riego bajo tres principios fundamentales:

- Equidad,
- Eficiencia, y
- Sostenibilidad ambiental

El artículo 318, aborda el tema de los caudales ecológicos de manera directa, en el cual se plantea que, el Estado a través de la autoridad única del agua, maneje integralmente el recurso hídrico, en este mismo artículo se concede un orden de prelación:

- Consumo humano,
- Riego que garantice la soberanía alimentaria,
- Caudal ecológico, y
- Actividades productivas,

Para concluir, en el artículo 411, se establece que el Estado garantizará la conservación de las cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Con el que se mantendrá el funcionamiento normal de los procesos biológicos, y se ratificará los anteriores artículos en los cuales garantiza los derechos de la naturaleza y el derecho al "Buen Vivir"

2.3. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del Agua. Publicada el 31 de julio del 2014.

Es una de las leyes que se aprobó recientemente, y hace referencia a la protección del recurso hídrico, ésta ley orgánica desarrolla de manera más profunda la importancia de definir un caudal ecológico. Por consiguiente tenemos los siguientes artículos:

El artículo 33, corresponde a la gestión integral de las cuencas hidrográficas, entendida como, la responsable en generar una planificación correcta de los recursos hídricos, ya sea para aprovechamiento, producción y para mantener el funcionamiento de los ecosistemas de manera adecuada, a través de la determinación de un caudal ecológico.

Al igual que en la Constitución, la ley de recursos hídricos presenta un capítulo relacionado a los derechos de la naturaleza; es así que el artículo 64, describe la importancia de la protección del agua desde la fuente, específicamente en ecosistemas frágiles a la intervención humana como: páramos, manglares, nevados, humedales, y glaciares. De la misma manera menciona que se debe preservar el caudal ecológico, para mantener a los ecosistemas, cuencas hidrográficas y al ciclo hidrológico funcionando de manera integral.

Es importante destacar que en el artículo 76 de caudal ecológico y Áreas de Protección Hídrica, se establezca criterios, parámetros y metodologías para la determinación del caudal ecológico de acuerdo con las condiciones, y las características de los cuerpos de agua, puesto que en el país no existe una metodología específica para la determinación de éste, y que se ajuste a los requerimientos del entorno.

Adicionalmente, el artículo 77 presenta la responsabilidad de respetar la cantidad y calidad requerida del caudal ecológico, que permita proteger la biodiversidad acústica y los ecosistemas aledaños. Únicamente en el caso de declaración de estado de excepción, podrá autorizarse el uso del caudal ecológico para consumo humano

Para finalizar, la ley en mención, en la sección segunda: De los usos del agua, artículo 86 presenta de manera idéntica el orden de prelación para la gestión del recurso hídrico, que el artículo 318 de la Constitución de la República

2.4. Ley Orgánica Reformatoria al Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD). (R.O. N° 166 publicada el Martes 21 de Enero de 2014).

El COOTAD, define las competencias que tienen los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD); en éste caso se definirán los artículos más relevantes en cuanto a las facultades que tiene los GADs en los sectores de planificación y gestión de los recursos hídricos. Así:

El artículo 32 concede la competencia a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Regionales, en su inciso b):

"Gestionar el ordenamiento de cuencas hidrográficas y propiciar la creación de consejos de cuencas hidrográficas, de acuerdo con la ley". (COOTAD, 2014, pág. 25).

En cuanto a las funciones de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales, en su artículo 41 literal e) le compete, prestar los servicios públicos, construir la obra pública provincial, fomentar las actividades provinciales productivas, así como las de vialidad, gestión ambiental, riego, desarrollo agropecuario y otras que le sean expresamente delegadas o descentralizadas, con

criterios de calidad, eficacia y eficiencia, observando los principios de universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad, solidaridad, interculturalidad, subsidiariedad, participación y equidad.

El artículo 42, destaca los siguientes literales para los recursos hídricos:

- c) Ejecutar, en coordinación con el gobierno regional y los demás gobiernos autónomos descentralizados, obras en cuencas y microcuencas
- d) La gestión ambiental provincial;
- e) Planificar, construir, operar y mantener sistemas de riego de acuerdo con la Constitución y la ley.

Artículo 133, confiere la competencia de riego a los Gobiernos Descentralizados Provinciales, y por ende la gestión integrada del agua, en coordinación con la autoridad única de agua y las juntas comunitarias que regulen el recurso hídrico.

2.5. Ley de Gestión Ambiental. Codificación 2004-019. Publicada en el Suplemento del Registro Oficial N° 418, 10 de Septiembre del 2004.

El ente regulador del cumplimiento de esta Ley, es el Ministerio del Ambiente, quien es que regula de manera indirecta el recurso hídrico. Se presentan los siguientes artículos:

En el artículo 12 literal e), la ley aborda el tema de la conservación del medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales en equilibrio con el entorno social, sin comprometer la integridad genética, ni el deterioro de los ecosistemas.

El artículo 16 de la ley de Gestión Ambiental, suscribe: El Plan Nacional de Ordenamiento Territorial es de aplicación obligatoria y contendrá la zonificación económica, social y ecológica del país sobre la base de la capacidad del uso, de los ecosistemas, las necesidades de protección del ambiente, el respeto a la propiedad ancestral de las tierras comunitarias, la conservación de los recursos naturales y del patrimonio natural.

Para el artículo 23.- La evaluación del impacto ambiental comprenderá:

a) La estimación de los efectos causados a la población humana, la biodiversidad, el suelo, el aire, el agua, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas presentes en el área previsiblemente afectada.

Cabe mencionar que dentro de esta ley, existen varios puntos relacionados a la conservación de los recursos naturales, y la evaluación de impactos y planes de manejo ambiental; sin embargo no existe un punto de obligatoriedad que permita la determinación de los caudales ecológicos.

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

En el capítulo 3, se realiza la revisión bibliográfica sobre la importancia de los páramos y la regulación hídrica, así como una descripción del ciclo hidrológico, sus componentes y formas para su determinación. Adicionalmente se presentan las definiciones más importantes del caudal ecológico y las metodologías que lo fundamentan.

3.1. Antecedentes

La necesidad de la implementación de caudales ecológicos, es un tema que se maneja hace varias décadas atrás, debido a la creciente preocupación de los recursos hídricos y su preservación. (King, Tharme, & Villiers, 2008, pág. 3).

La gestión adecuada del recurso hídrico es el principal incentivo en cuanto a la definición del caudal ecológico, no únicamente por tratar la sostenibilidad del capital natural, sino también por la importancia que tiene dentro de la sociedad, y por los múltiples usos y servicios que aporta, tales como: consumo humano, ecológico, recreativo, entre otros.

Cabe destacar, que el caudal ecológico parte en los años 70 en Estados Unidos, cuando se publica, el Código RCW 90/54.020 de Washington; el mismo que hace referencia al concepto de caudal ecológico o instream flow. (Endesa-Chile, 2011, pág. 10)

Otros países que también llevan varias décadas desarrollando este tema son: África, Canadá y ciertos países de Europa.

América latina, últimamente viene desarrollando este término de conservación hidrológica. Al respecto países como: Brasil, Chile, México, Perú, Venezuela, Colombia, Ecuador, entre otros; han tomado como prioridad la protección de sus fuentes hídricas, estableciendo para ello leyes y reglamentos que permiten la aplicación de las mismas. (Jamett & Rodrigues, 2005, págs. 83-84)

En el caso del Ecuador, específicamente en los páramos andinos la fuente de abastecimiento y provisión de agua a las comunidades y sectores bajos de la montaña, provienen de éste ecosistema, quien ha sido uno de los principales afectados por la demanda requerida de este recurso. (Mena, et. al, 2011, págs. 60-65).

Es importante mencionar, que la determinación de caudales ecológicos se ha realizado en ecosistemas con características diferentes entre un país y otro, es por ello necesario evaluar la zona al momento de sugerir un caudal ecológico definitivo.

3.2. El Páramo: prestador de servicios

Hay un sinnúmero de servicios que los páramos prestan a las poblaciones aledañas y bajas de la montaña, pero sin duda alguna, uno de los servicios más relevantes es el de prestador de recursos hídricos. (CONDENSAN¹, 2010, págs. 14-26).

Estos recursos han sido utilizados principalmente para el abastecimiento de agua en las poblaciones rurales y urbanas y otras actividades tales como: la agricultura, ganadería, riego, electricidad. (Mena, et. al, 2011, pág. 158).

El páramo como prestador de servicios hídricos, no se enfoca únicamente en la parte social, también funciona como regulador de ríos, vertientes, clima, ecosistemas, entre otros. Los servicios que presta el páramo, deben mantener una sinergia constante entre el ser humano y la naturaleza; puesto que el agua es el recurso más importante para las poblaciones andinas.

Además, en las últimas décadas, se ha evidenciado que el equilibrio natural ha ido deteriorándose debido a la extensión de la frontera agrícola, lo que ha ocasionado el incremento de la demanda de agua para dichos sectores, afectando también a las partes bajas. Éste incremento de la frontera agrícola, no es el único problema, también se suma la extensión de terreno para el pastoreo intensivo, conllevando a la reducción del área donde se desarrolla la flora nativa. (Mena, et. al, 2011, pág. 43).

¹Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN)

Los servicios que presta el páramo son diversos, de aquí la importancia en la protección de este ecosistema frágil y puntualmente en los recursos hídricos, puesto que el páramo es el principal abastecedor de agua en la mayoría de cuencas.

3.3. Páramo y caudal ecológico

Como se mencionó anteriormente, el páramo abastece a muchas cuencas hidrográficas, debido a las características propias del ecosistema alto andino.(Turcotte, Medina, Díaz, & Peralta, 2000, pág. 7).

Esta característica del páramo depende del suelo y su vegetación, debido a que la mayor parte de él, está formada por suelo volcánico y alto contenido de materia orgánica, que juntas forman un tipo de almacenamiento temporal de agua y que va descargándose poco a poco. (Buytaert, Wyseure, Bievre, & Deckers, 2005, págs. 3986-3990).

Por tal razón, muchas veces se confunde al páramo como el provisor de agua eterno. Pero en realidad es un sistema de almacenamiento y regulador del ciclo hidrológico, el cual nos provee constantemente de este recurso.(Buytaert, et. Al, 2006).

No obstante, la degradación hídrica es evidente en el ecosistema, debido al cambio brusco que tiene el uso del suelo; como, las quemas de la vegetación natural, para la siembra de pasto para actividades pecuarias; las cuales interfieren de manera directa en el almacenamiento de agua en el suelo.

A pesar de la disminución en el abastecimiento de agua, proporcionada por el páramo, el recurso constituye parte fundamental en el desarrollo y productividad de las zonas de la montaña; pero todos estos procesos que interfieren en la reducción del volumen de un caudal generan un impacto ambiental sustancial de los ecosistemas ribereños. (Celleri, 2010, págs. 26-27)

Hay que considerar, que la captación del agua realizada desde las partes altas y en muchos casos directamente desde las vertientes, ocasiona alteraciones en los ecosistemas existentes en el lugar, por tal razón es primordial identificar un caudal ecológico, capaz de no alterar los procesos originales del hábitat propia del páramo.

3.4. Definición de caudal ecológico

El caudal ecológico es un término que abarca la sustentabilidad del recurso hídrico, y el equilibrio entre la vegetación y la fauna. El presente estudio se sustenta en la definición de este concepto.

Actualmente la definición del caudal ecológico es muy discutido por varios autores, puesto que tiene varias denominaciones (Palau, 1994, pág. 87), tales como:

- Caudal ambiental ,
- Caudal de mantenimiento,
- Caudal mínimo,
- Caudal de compensación,
- Caudal de acondicionamiento, entre otros.

A pesar de la variedad de conceptos, la mayoría de autores manejan denominaciones similares; y cada uno de ellos se fundamenta en la conservación de los ecosistemas, en zonas donde se puedan ver afectadas las condiciones iniciales del entorno. A continuación se presenta ciertos conceptos para definir el caudal ecológico:

El caudal ecológico considera la variación del régimen natural, de manera integral al medio biótico y abiótico, a los aspectos económicos y a la sociedad como parte importante en la conservación de los ríos.(Brow & King, 2003, págs. 13-15).

Así mismo se define al caudal ecológico como: "la cantidad y calidad de los recursos hídricos necesarios para mantener el hábitat del río y su entorno en buenas condiciones, considerando las necesidades de las poblaciones humanas, animales y vegetales."(Vélez & Ríos, 2004, pág. 4).

Carvajal, 2007; presenta varias denominaciones con respecto al caudal ecológico, realizadas por autores internacionales (Tabla 1). En esta tabla se presentan en síntesis los conceptos del tema tratado. (Rodríguez, et al, 2007, pág. 11).

Tabla 1. Denominaciones y definiciones de caudal ecológico

Denominación	Concepto
Caudal ecológico Mínimo	Caudal que limita la utilización del recurso en épocas de sequía, preservando las condiciones en el entorno del afluente, sin generar una solución ecológica real. Su determinación se la realiza de forma empírica. (Rodríguez, et al, 2007, pág. 11).(King, Brown, & Sabet, River Research and Applications, 2003, págs. 620-621).
Caudal ecológico	“El caudal ecológico puede definirse como el flujo de agua mínima necesaria para preservar los valores ecológicos del cauce, tales como los hábitats naturales de vegetación y fauna, las funciones de dilución de contaminantes, su uso antrópico, entre otras materias”. (Endesa Chile, 2012, pág. 24).
Caudal de mantenimiento	Porcentaje pequeño ineludible de flujo de agua, con el cual se mantiene la estabilidad de las características físicas y ecosistemáticas del caudal del río, esta estabilidad permite al medio ambiente preservarlo en su mayor biodiversidad.(APROMA, 2000, pág. 407).
Caudal ambiental	Se define caudal ambiental como la cantidad de caudal que se toma del río, con el fin de minimizar la degradación de las riberas y por ende su flora y fauna, (Dyson, Bergkamp, & Scanlon, 2003, pág. 3). “Se considera caudal ambiental a la cantidad de agua necesaria para restablecer el río y rehabilitar el ecosistema hasta un estado o condición requerida”. (Rodríguez, et al, 2007, pág. 11).
Caudal de acondicionamiento	El caudal de acondicionamiento, es un caudal que se determina adicionalmente a un caudal ecológico establecido, puesto que pueden presentarse circunstancias que requieran un caudal que pueda mantener las características del río. Estas características no dependerán precisamente de una conservación en cuanto a ecosistemas, sino también a condiciones abióticas o de entretenimiento.(Alcázar, 2007, pág. 32),

Fuente: (Rodríguez, et al, 2007, pág. 11).

Hasta el día de hoy no existe una definición unánime para este concepto. Pero como se puede entender, cada uno de los autores concluye que la conservación de los ecosistemas es lo más importante.

Con estas acepciones, al caudal ecológico se lo puede definir como: el caudal necesario para preservar los ecosistemas acuáticos y terrestres y por ende su biodiversidad, minimizando las alteraciones del entorno, y manteniendo la sustentabilidad de todos los procesos, entendiendo como tales a los ciclos biogeoquímicos, transferencia de energía y homeostasis que son sujetos a cambios constantes a medida que los ecosistemas evolucionan.

3.5. Régimen de caudales ecológicos

El régimen del caudal ecológico y su determinación, están sujetos a un término en común: "caudal ecológico"; pues este concepto es integral para ambos casos, debido a que estudian y consideran la importancia de los componentes que el río requiere para conservar sus elementos en estado natural. (Vilchez, 2010, págs. 6-8).

Dentro de este régimen de caudales ecológicos, se consideran las distintas fluctuaciones a las que se somete un río o cualquier corriente hídrica, durante las distintas épocas del año; como por ejemplo a las crecidas, estiaje, entre otras. (World Fund For Nature, 2010, págs. 4-8).

El manejo integral de este régimen también incluye la conservación de hábitats, el cuidado ambiental, y el manejo adecuado de los suelos.

Si bien es cierto, el régimen de caudal ecológico es una parte importante, su determinación aún sigue quedando a criterio de los especialistas, y a los estudios previos de las características de cada zona.

3.5.1. Clases de régimen de caudales naturales.

A continuación se presentan las diferentes clases de regímenes de caudales:

De acuerdo a la Climatología

- Perennes : se presentan todo el año
- Estacionales: presentan en estaciones húmedas o lluviosas

De acuerdo a la Topografía

- Afluentes de montaña
- Afluentes al pie de las montañas
- Ribereños

De acuerdo al abastecimiento

- Fortuitos (inundación o sequia)
- Perpetuos (abastecidos por vertientes)

Como se observa, el régimen y los tipos de régimen de caudales ecológicos están directamente relacionados con el abastecimiento de precipitación y retención de agua en la cuenca. (World Fund For Nature, 2010, pág. 9).

3.5.2. Componentes del régimen del caudal ecológico.

Parte de la implementación del caudal ecológico, es el de considerar la valoración de los componentes del régimen del recurso hídrico, ya que éste permite mantener en equilibrio a los ecosistemas tanto acuáticos como terrestres.

Es por esta razón que el régimen toma mayor impulso para atender a las necesidades del recurso hidrológico. Cabe recalcar que el caudal de cualquier tipo de cauce, tiene relación directa con los procesos integrales de la funcionalidad del sistema acuático (procesos químicos, biológicos, entre otros.).

Existen cinco componentes que regulan a los ecosistemas acuáticos y sus procesos internos de éste ecosistema. (Poff, et al, 1999, pág.770).

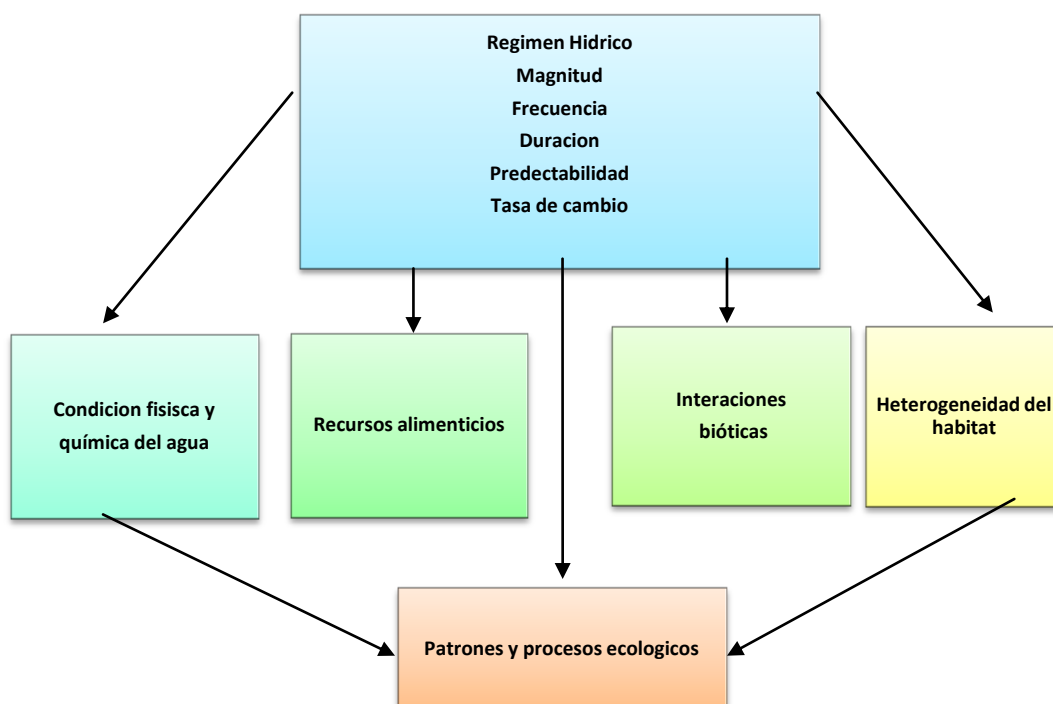
Los componentes que lo conforman son:

- Magnitud
- Frecuencia
- Duración
- Perfectibilidad
- Tasa de cambio

Las modificaciones de estos componentes traen consigo alteraciones en el desarrollo natural del hábitat; por ello, es necesario mantener la sostenibilidad del mismo para asegurar la integridad hidrológica de los ecosistemas que podrían verse alterados.

La figura 2, presenta el prototipo de esquema propuesto por Poff, 1997; en el cual hace referencia a las alteraciones que tiene un ecosistema durante las etapas de crecimiento, llevando consigo al cambio en los patrones y procesos ecológicos.

Figura 2. Componentes del régimen del caudal ecológico



Fuente: Poff y Allan, 1997, pág. 770

3.6. Balance hídrico en cuencas hidrográficas

3.6.1. Definición de cuenca hidrográfica.

Se define a las cuencas hidrográficas como "la zona geográfica drenada por una corriente de agua"; en el que interactúan los componentes bióticos y abióticos; además, generan un área de interdependencia ambiental y social. (FAO, 2006, pág. 3).

Sin embargo, existen definiciones más detalladas de cuenca hidrográfica, definiéndola como un sistema de captación natural de agua donde se producen todos

los procesos hidrológicos, que mantienen las interacciones de los microecosistemas funcionando de manera adecuada, a más de ello proporciona servicios ambientales a las poblaciones rurales y urbanas, tal como el suministro de agua para actividades agrícolas, consumo humano, entre otras. (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010, págs. 15-17)(Mojica, 1978, págs. 5-8).

Es importante definir, a la cuenca hidrográfica en un contexto más amplio debido a que es el espacio donde se constituye la interacción total de los servicios ambientales, recursos de la naturaleza, y actividades antrópicas; de igual manera es importante conocer las variaciones del régimen natural de su caudal, puesto que de él depende que todo el escenario ecosistémico funcione de manera correcta, dichas variaciones de caudal se pueden encontrar a través del balance hídrico en ella.

3.6.1.1. Clasificación de una cuenca hidrográfica de acuerdo al área.

La clasificación de las cuencas hidrográficas según el área, se realiza con fines de manejo y ordenamiento integral de la cuenca.

En términos generales, la cuenca hidrográfica de acuerdo al área se clasifica en:

- Subcuencas (drenaje principal a partir de la cuenca)
- Microcuencas (drenaje principal a partir de la subcuenca)

Cada una definida, a partir de órdenes de los drenajes y la extensión que ocupan; es así que en la siguiente tabla se muestra la clasificación de una cuenca hidrográfica:

Tabla 2. Clasificación de una cuenca hidrográfica de acuerdo al área

Unidad	N° de orden	Área (km2)
Microcuenca	1,2,3	10-500
Subcuenca	4 ,5	500-2000
Cuenca	6,7 ó más	Mayor a 2000

Fuente: (Jiménez, 2000, pág. 3)

La clasificación de la cuenca, puede ser subjetiva, pues depende de las características de cada región para asignar un tipo de orden de drenaje, es así que en muchos casos a las cuencas hidrográficas se define como cuencas grandes o pequeñas.

Dentro de éste trabajo, se considera al área de estudio como microcuenca por encontrarse en el rango presentado en la tabla 2. Adicionalmente, se considera la importancia que tiene una microcuenca en cuanto a los servicios ambientales que presta a la sociedad y economía de la población.

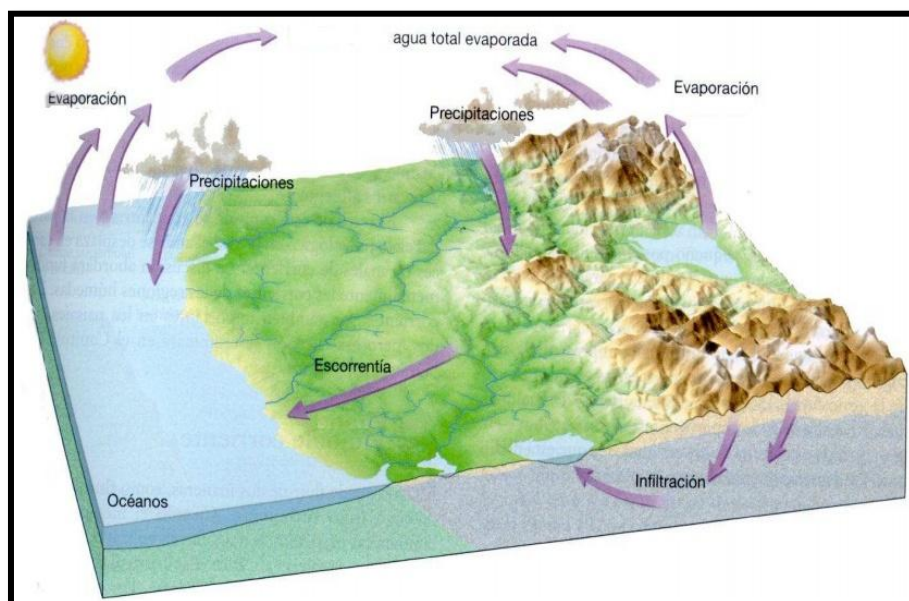
3.6.2. Ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico, es el responsable de transmitir las masas de agua en todos sus estados, manteniendo los procesos bioquímicos y geológicos, así como también la temperatura estable del planeta.

Este ciclo hidrológico, tiene varios componentes interrelacionados cuyo funcionamiento inicia con la precipitación, la cual cae directamente al suelo. Cierta parte del agua, que se precipita es utilizada por la vegetación para el desarrollo de sus ciclos vitales, el agua que no se ha utilizado es devuelta a la atmósfera en forma de vapor a través del proceso de transpiración; cierta cantidad de agua que cae directamente al suelo regresa a la atmósfera, la otra cantidad de agua por escorrentía llega a la hidrósfera, la cual después se evapora. (Fattorelli & Fernández, 2011, pág. 24).

Para ilustrar mejor el ciclo hidrológico se presenta la siguiente figura:

Figura 3. Proceso del ciclo hidrológico

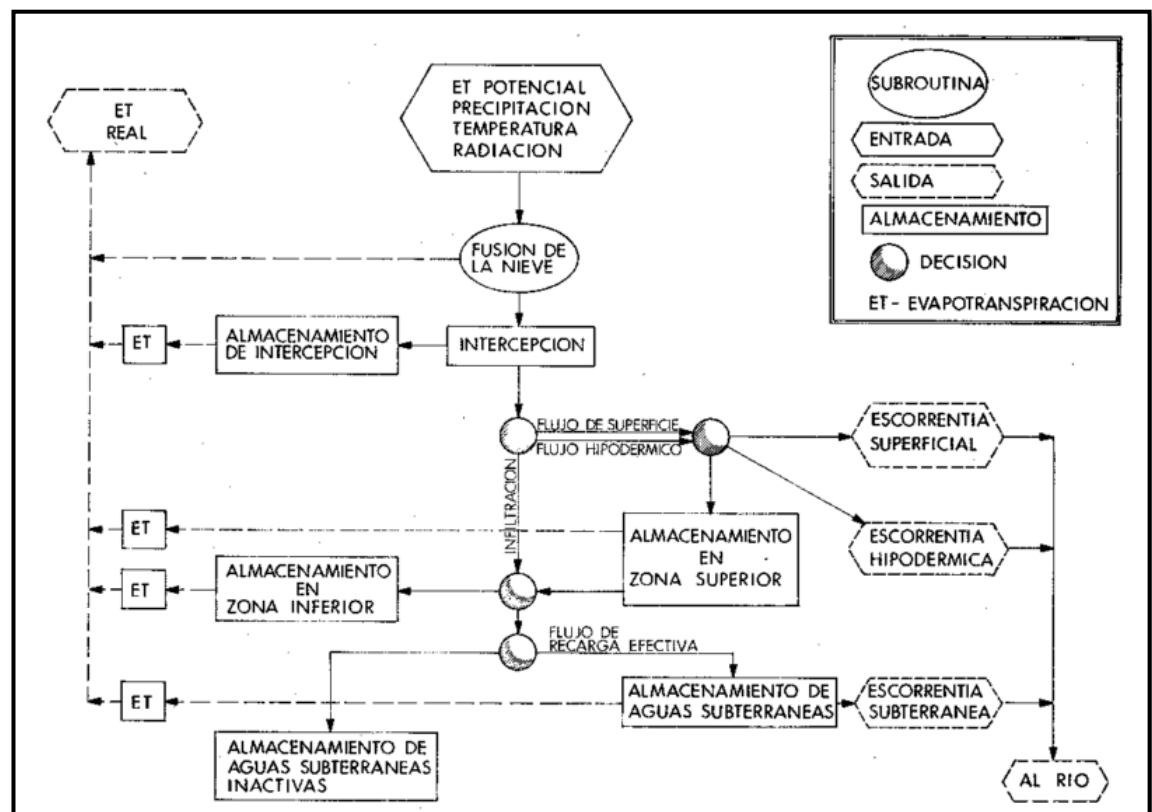


Fuente: <http://www.aviso.oceanobs.com>

Hay otros componentes que intervienen en el ciclo hidrológico, cada uno con la importancia que cada variable tiene dentro de éste, por lo que, se considera fundamental tomarlo como un sistema el cual se encuentra compuesto por entradas y salidas. (Campos, 1998, págs. 4-7)(Estrela, 1992, pág. 11).

La figura 4 ilustra al ciclo hidrológico como sistema.

Figura 4. Ciclo hidrológico como sistema



Fuente: Estrela, 1992, pág. 12

3.6.2.1. Componentes del ciclo hidrológico.

Como se mencionó anteriormente, el ciclo hidrológico tiene componentes específicos, los cuales son importantes; puesto que, facilitan la determinación del balance hídrico en una cuenca hidrográfica. Seguidamente se definen ciertos términos de dicho ciclo:

3.6.2.1.1. Precipitación.

Se define a la precipitación como el agua que cae desde la atmósfera a la tierra, producto del proceso de condensación y el aire frío llegando al punto de rocío. El agua precipitada puede caer en forma de lluvia, nieve, rocío y escarcha. Las diferentes formas de precipitación, dependen principalmente de la temperatura presente en la atmósfera. (Chereque, 1989, pág. 15).

La precipitación, es una de las variables climáticas más importantes; debido a que, es la única y principal aportación hídrica que tiene un ecosistema.

- **Métodos para determinar la precipitación**

La precipitación tiene varias metodologías para su determinación; en este estudio se mencionan las más utilizadas para obtener el valor de la precipitación:

a) Método de las Isoyetas

El método, permite obtener la precipitación exacta en una cuenca a través de registros meteorológicos. Consiste en graficar curvas de igual precipitación o también llamadas isoyetas. Una vez obtenidas estas curvas, se calcula el área entre ellas y se multiplica por la precipitación media obtenida entre las dos isoyetas. (Chereque, 1989, pág. 31) (UNESCO, 2006, pág. 14)

Para el cálculo de la precipitación se utiliza la siguiente expresión:

Ecuación 1. Precipitación media método de Isoyetas

$$Pm = \frac{\sum_{i=1}^n Pi * Ai}{AT}$$

Dónde:

Pm: Precipitación media de la cuenca (mm).

Pi: Precipitación promedio entre dos curvas (mm).

Ai: Área promedio entre dos curvas (m²).

At: Área total de la cuenca (m²).

b) Método de la media aritmética

Es el método más fácil para determinar la precipitación media en una cuenca. El método de la media aritmética se calcula sumando todos los valores de las precipitaciones registradas y dividiéndolas para el total de éstas.

Se expresa con la siguiente ecuación (Fattorelli & Fernández, 2011, pág. 109).

Ecuación 2. Precipitación método media aritmética

$$\overline{X} = \mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Donde:

Xi: Valor observado de Variable

N: número de datos

c) Método de Thiessen

El método de Thiessen, consiste en realizar una triangulación con los pluviómetros cercanos al área de estudio y trazar líneas hasta formar triángulos. Se puede señalar que el método, es fácil de aplicar. Para tal determinación se plantea la siguiente ecuación: (Fattorelli & Fernández, 2011, pág. 359).

Ecuación 3. Precipitación Media Método de Thiessen

$$P = \sum \frac{A_i}{A} P_i$$

P: precipitación total (mm).

Ai: área de cada polígono en la cuenca (m²).

A: área total de la cuenca hidrográfica (m²).

Pi: Precipitación anual total de la estación i (mm).

3.6.2.1.2. Infiltración.

La infiltración, es el agua procedente de las precipitaciones, que es aportada desde el escurrimiento superficial y que penetra a través de la capa del suelo. No toda el agua se infiltra debido a que una cantidad vuelve a la atmósfera. El porcentaje de infiltración depende también del tipo de suelo. (Martínez de Azagra, Pando, Del Rio, & Navarro, 2006, pág. 474).

3.6.2.1.3. Evaporación.

La evaporación es el cambio de estado del agua de líquido a gaseoso, y depende principalmente de la temperatura y la velocidad del viento. (INAMHI, 2010, pág. 6).

3.6.2.1.4. Transpiración.

“La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera” (Allen, Luis, Raes, & Smith, 1998, pág. 3).

3.6.2.1.5. Temperatura.

La temperatura “es una medida de su estado térmico, considerado como su capacidad para transferir calor a otros cuerpos” (Himmelblau, 2002, pág. 42).

3.6.2.5.6. Evapotranspiración.

Es un fenómeno que depende de tres factores: condiciones atmosféricas, del suelo y de la vegetación.

Se conoce a la evapotranspiración como el resultado de la transpiración de las plantas y la evaporación del suelo. La evapotranspiración tiene dos términos importantes: (Allen, Luis, Raes, & Smith, 1998, pág. 1).

- Evapotranspiración Potencial (ETP): Es el máximo retorno de humedad a la atmósfera. (Sánchez & Carvacho, 2011, pág. 172).
- Evapotranspiración Real (ETR): Para su cálculo considera la disponibilidad del recurso hídrico presente en el suelo, sumado las condiciones ambientales climáticas presentes en el cultivo estudiado. (Cordori, Valdivia, & Paredes, 2013, pág. 25).

- **Metodologías para interpretar la evapotranspiración**

Dentro del ciclo hidrológico, la evapotranspiración también se interpreta como salida. El cálculo de la evapotranspiración se la realiza a través de distintos métodos y fórmulas, las cuales se mencionan a continuación:

a) Fórmula de Thornthwaite

La fórmula de Thornthwaite, es utilizada para determinar la evapotranspiración potencial en función de la temperatura media mensual y de la duración del día o de la latitud. (Thornthwaite & Holzman, 1942, pág. 25).

Se presenta la ecuación como:

Ecuación 4. Evapotranspiración Método de Thornthwaite

$$E_i = \frac{10 t_i^a}{I} * 1.6 K a$$

Donde:

E_i: Evapotranspiración potencial para un mes i (mm).

t: Temperatura en el mes i (°C).

I: Índice de calor (adimensional).

Ka: Constante dependiente del mes del año y de latitud (adimensional).

a: constante

- **Calculo del índice de calor:**

$$I = \sum_{i=1}^{12} i_i$$

$$i_i = \frac{t_i}{5}^{1.514}$$

* i: Número de meses

$$a: 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 179 \times 10^{-4} I + 0.492$$

b) Fórmula de Turc

La fórmula de Turc es utilizada para calcular la evapotranspiración real en "estratos, tales como bosque, matorrales, pastizales u otro tipo de vegetación". (UNESCO, 2006, págs. 19-20).

Ecuación 5. Evapotranspiración fórmula de Turc

$$ET = \frac{P}{0.9 + \frac{P}{L}^2}$$

Donde:

ET: Evapotranspiración real (mm).

P: Precipitación media anual (mm).

L: Parámetro de Helio Térmico

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T: Temperatura media anual. (°C)

c) Fórmula de Blaney-Criddle

"En este método se toma en cuenta, la temperatura y las horas de sol diarias, el tipo de cultivo, la duración de su ciclo vegetativo, la temporada de siembra y la zona". (Aparicio, 1992, pág. 57).

El autor describe la siguiente fórmula de la evapotranspiración de la siguiente manera:

Ecuación 6. Evapotranspiración fórmula Blaney-Criddle

$$ET = K_c F$$

ET: Evapotranspiración durante el ciclo vegetativo (mm).

Kc: Coeficiente de desarrollo

F: Factor de Temperatura y luminosidad.

$$F = \sum_{i=1}^n fi$$

* n: Número de meses del ciclo vegetativo

$$fi = pi \frac{Ti + 17.8}{21.8}$$

Pi: Porcentaje horas sol del mes i

Ti: Temperatura del mes i (°C).

3.6.3. Balance hídrico.

El manejo óptimo de la cuenca, garantiza el uso adecuado del agua, para distribuir mejor el recurso. El balance hídrico, permite mejorar el régimen de los cauces debido a las modificaciones que podría presentarse por causa de las actividades antrópicas que utilizan el capital hídrico natural, así como también permite conocer el funcionamiento del ciclo hidrológico. (UNESCO, 1982, pág. 12).

La ecuación del balance hídrico general para una cuenca es el siguiente²:

Ecuación 7. Balance Hídrico General

$$P + Q_{SI} + Q_{UI} - E - Q_{SO} - Q_{UO} - \Delta S - v = 0$$

Donde:

P: Precipitación

Q_{SI} : Aguas superficiales (recogidas dentro de la cuenca)

Q_{UI} : Aguas subterráneas (recogidas dentro de la cuenca)

E: Evaporación

Q_{SO} : Aguas superficiales (de salida de la cuenca)

Q_{UO} : Aguas subterráneas (de salida de la cuenca)

² Ecuación extraída de: Métodos de Balance Hídrico: Guía Internacional de Investigación y métodos; (UNESCO,2006), pág. 19

ΔS : Variación del Volumen de agua

v : Término Residual.

El término residual, se establece debido a que existen incertidumbres en el momento de determinar el balance.

Se presenta de manera sintetizada a la Ecuación 8 sobre el balance hídrico, la misma que corresponde a la variación del volumen que es igual a la diferencia entre las entradas y las salidas, en un determinado tiempo.(Ayala & Vadillo, 2004, pág. 347).

Ecuación 8. Balance Hídrico Simplificado

$$\frac{dV}{dt} = E - S$$

A continuación, se presentan las entradas y salidas que puede tener una cuenca hidrográfica:

Tabla 3. Ingresos y pérdidas físicas de una cuenca hidrográfica

ENTRADAS	SALIDAS
Precipitación	Evaporación
Escorrentía superficial	Transpiración
Escorrentía subterránea	Infiltración

Fuente:(Ayala & Vadillo, 2004, pág. 347)

3.7. Metodologías para determinar el caudal ecológico

Para encontrar una metodología que determine el caudal ecológico, muchos expertos evaluaron condiciones acorde a los requerimientos de hábitat animal, vegetal, volumen de caudales, condiciones físicas y químicas de un río, entre otras. Cada uno manteniendo su fundamento particular al momento de comprobar su técnica. Es así que en varios países utilizan los métodos que ya fueron comprobados. Entre los países pioneros en determinar el caudal ecológico están: Estados Unidos, Canadá, y Sudáfrica.(Endesa-Chile, 2011, pág. 6).

Las metodologías existentes para tal determinación son múltiples; ya que no existe un procedimiento estándar para definir el caudal ecológico, sin embargo, la aplicación de la técnica va a depender de los datos disponibles en el lugar del estudio, las características físicas, biológicas y morfológicas. (Lozano, et.al, 2011, pág. 23).

Por esta razón existe dificultad al momento de elegir un método exacto para la estimación, es por ello que se debe analizar previamente las características de la zona que se va a estudiar.

De manera general, se definen cinco metodologías las mismas que se mencionan a continuación: (King, Tharme, & Villiers, 2008, pág. 16).

- Métodos hidrológicos
- Métodos hidráulicos
- Método hidrobiológico o simulación de hábitat
- Metodología holística

3.7.1. Métodos hidrológicos.

Los métodos hidrológicos, se basan en registros de datos estadísticos históricos de caudales medios diarios, o mensuales, a través de los cuales se determina un caudal ecológico. Su determinación es sencilla debido a que requieren de poca información. (King, Tharme, & Villiers, 2008, pág. 17).

A más de ello, se basan en la relación existente entre las variaciones de los caudales con los ecosistemas propios de la zona, ya que están adaptadas a las fluctuaciones naturales constantes de las estaciones climáticas. Estas fluctuaciones tienen que ver de manera directa en la variación de los ciclos de desarrollo de un hábitat.

A pesar de la relación entre ecosistemas, la mayor desventaja, es que descarta a la geomorfología, biología del río, así como también los aspectos socioeconómicos y culturales de una población. Sin embargo, es la más utilizada a nivel mundial.

A continuación se presentan los métodos hidrológicos más usados:

3.7.1.1. Método de Hoppe.

Expresa la relación entre la curva de duración de caudales y el escenario ecosistemático favorable en el área de estudio. Para aplicar el método de Hoppe, se debe considerar tres percentiles importantes a partir de las condiciones necesarias en él.(Castro, Carvajal, & Monsalve, 2006, pág. 11).

Tabla 4. Percentiles usados para la metodología de Hoppe

CONDICIONES	PERCENTILES
Caudales de Avenidas	Q17
Equilibrio ecosistémicas para el Desove	Q40
Alimento	Q80

Fuentes: (Gordon, McMahon, Finlayson, Gippel, & Rory, 1992, pág. 293)

3.7.1.2. Método de caudal base de 7 días con período de ocurrencia de 10 años (7Q10).

Utilizando datos estadísticos, se determina el caudal base que consiste en obtener el caudal medio que corresponderá al caudal promedio de 7 días continuos de sequia para un periodo de retorno de 10 años. Utilizando esta base teórica se han desarrollado más métodos similares tales como 7Q2; y 10Q5.

3.7.1.3. Método suizo.

Denominado de tal manera, pues se estableció en la legislación suiza, y es utilizado por países europeos, entre ellos Francia, y comunidades españolas como Cantabria y Aragón. El fundamento del método Suizo, radica en el cálculo de caudales de estiaje para 347 días por año. Es decir, que considera 18 días al año la presencia de caudales mínimos. (Lozano, et al, 2011, pág. 130).

Se debe considerar, que los 18 días pueden variar; es decir, no solo se puede suponer que únicamente en este número limitado de días existen caudales mínimos.

En cuanto a la determinación se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 9. Cálculo de caudal ecológico método Suizo

$$Q_E = \frac{15Q_{347}}{\ln Q_{347}^2}$$

- **Q_{347}** : Es el caudal calculado a partir de 10 años gastos medios diarios y que es igualado-excedido 347 días por año.

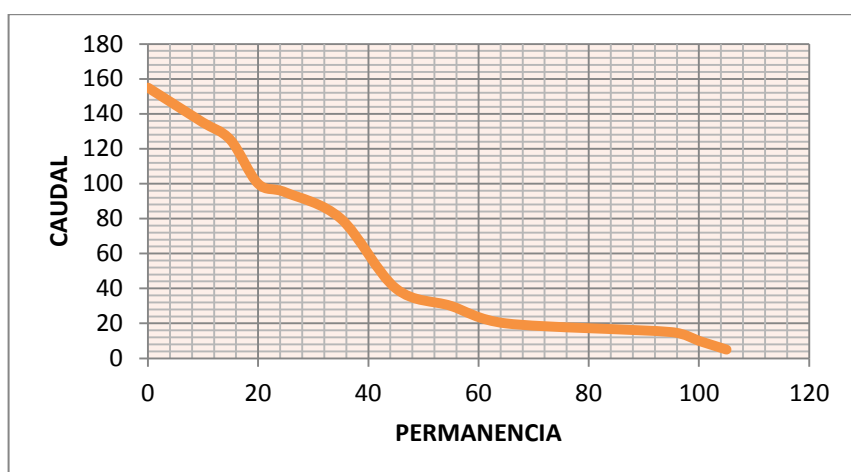
3.7.1.4. Método de Curva de Permanencia.

“Consiste en generar curvas, mediante datos de caudales diarios, mensuales o anuales; las curvas representan una relación entre los rangos de caudales y el porcentaje de tiempo en que los rangos de los caudales son igualados o excedidos”. (Endesa-Chile, 2011, pág. 13).

Usualmente, quienes definen el caudal ecológico a través de este método son expertos, que consideran a su criterio y experiencia el caudal más adecuado.

La representación se la realiza de la siguiente manera:

Figura 5. Representación de la curva de permanencia



Fuente: Endesa Chile, 2011.

3.7.1.5. Método de Tennant o Montana.

La metodología surge a partir de investigaciones en campo, en las cuales se encontraron la dependencia directa del hábitat de una especie determinada con la morfología del cauce.

Es así que Tennant, separó al año en dos periodos; uno seco y el otro lluvioso. Para cada periodo, el método de Tennant o Montana sugiere porcentajes de caudales tomados a partir del caudal medio interanual para conservar un hábitat acuático establecido. (Gordon, McMahon, Finlayson, Gippel, & Rory, 1992, pág. 291).

Tabla 5. Porcentaje óptimo para el caudal anual mensual

FASE DE CONSERVACIÓN	OCT-MARZ (% CAM)	ABR- SEPT (% CAM)
Máximo (Flushingormaximun).	200%	200%
Rango óptimo (Optimumrange).	60-100%	60-100%
Sobresaliente (Outstanding).	40%	60%
Excelente (Excellent).	30%	50%
Bueno (Good).	20%	40%
Regular o en degradación (Fairordegrading).	10%	30%
Pobre o mínimo (Poor orminimum).	10%	10%
Degradación severa (Severedegradation).	< 10%	< 10%

Fuente: (Mann, 2006, pág. 5).

3.7.2. Métodos hidráulicos.

Se considera que variables hidráulicas simples, como el perímetro mojado o la profundidad máxima, juegan como factores limitantes en la biota. Estos métodos

generalmente se basan en estudios de una sección transversal de un río, para así relacionar la magnitud de la descarga con la profundidad de los cauces, velocidad y perímetro mojado. (Endesa-Chile, 2011, pág. 15).

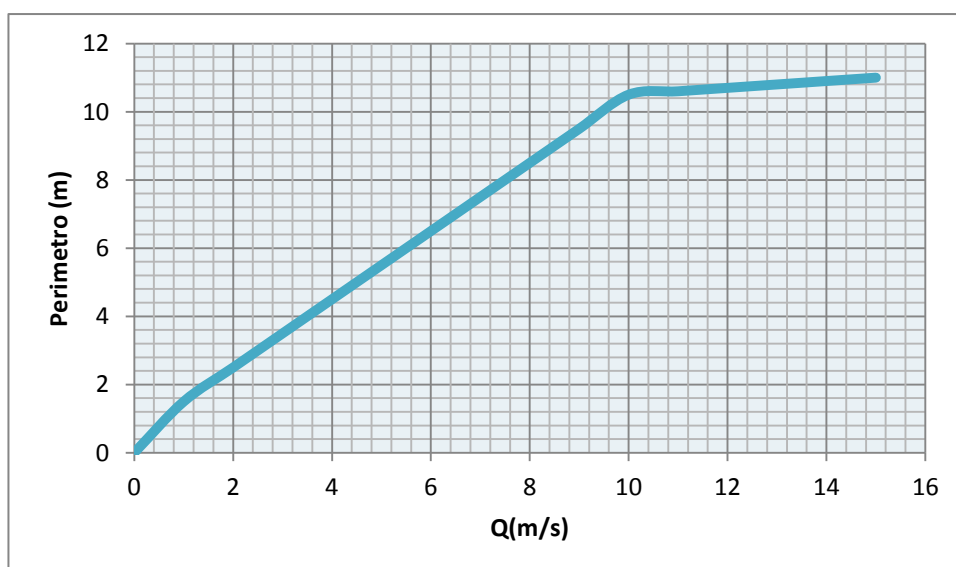
3.7.2.1. Método del perímetro mojado.

Es uno de los métodos más usados en el enfoque hidráulico; el fundamento de esta metodología, es mantener el hábitat acuático en un estado óptimo, conservando una determinada humedad en el área del perímetro del cauce. (Endesa-Chile, 2011, pág. 15).

La metodología es analizada a través de curvas, las cuales describen la relación entre el caudal del cauce y el perímetro mojado. La cual será fundamental para definir el caudal ecológico; puesto que el perímetro indicará el límite idóneo para que los ciclos vitales de los ecosistemas ribereños o acuáticos tengan un desarrollo normal. (Benetti, Lanna, & Cobalchini, 2003, pág. 146).

La figura 6, representa la curva para la metodología descrita, en la cual se grafica al perímetro en el eje de las Y, y al caudal en el eje de las X:

Figura 6. Representación de la curva de perímetro mojado frente al caudal



Elaborado por: Paulina Carrasco

3.7.2.2. Método Toe-Width Washington o método de múltiples secciones transversales.

Se basa en la medición de varias secciones transversales para determinar el caudal ecológico de un río. El método requiere las características físicas del cauce (velocidad, cobertura, profundidad, entre otras.), que son recogidas en campo, con la finalidad de adquirir datos suficientes y precisos para encontrar la conexión entre los cambios de las características hidráulicas con el caudal. (Endesa-Chile, 2011, pág. 14).

El método considera aspectos tanto hidráulicos como ecosistemáticos, pues permite establecer el caudal ecológico para el desove de la fauna acuática.

3.7.3. Método hidrobiológico o simulación de hábitat.

Suelen referirse al análisis de la fauna y flora acuática, cuando existen cambios en el caudal natural. Para la aplicación de estas metodologías, se considera la información de la o las especies acuáticas de la zona en estudio, con la finalidad de mantener las poblaciones funcionando correctamente. Una vez consolidada la información se puede determinar el caudal óptimo o ecológico. (Franquet, 2009, pág. 92) (Díez & Olmeda, 2008, pág. 70).

Alguno de los métodos se presenta a continuación:

3.7.3.1. Método IFIM - PHABSIM (*Instream Flow Incremental Methodology*).

Esta metodología se desarrolla con la finalidad de dar un análisis cuantitativo a los impactos medioambientales por ser los que evalúan las alteraciones del entorno. Así mismo, analiza varios componentes en su evaluación, dentro de ellos, modelos hidráulicos (velocidad, profundidad.), y ecológicos. El fundamento del método IFIM - PHABSIM señala que el desarrollo de las poblaciones del hábitat acuático (peces), se encuentra relacionado con las fluctuaciones de los regímenes de los caudales. (Mayo, 2000, pág. 29).

Adicionalmente, IFIM se vincula, y se complementa con el sistema físico de simulación de hábitat (PHABSIM) o Physical Habitat Simulation System. Esta última evalúa dos modelos: modelo hidráulico (las condiciones hidráulicas) y modelo de hábitat (necesidades ecológicas de la especie en estudio).

A partir de los modelos mencionados, se realizan curvas de preferencia para la especie en estudio. En la cual se grafica la velocidad, profundidad y demás características físicas de los causes que influyan en el desarrollo de los ciclos vitales.

3.7.3.2. Método Vasco.

"El método se basa en el mantenimiento de la diversidad ecológica. La diversidad se mide por el número de taxones de la comunidad de invertebrados, pero a pesar de este componente biológico, básicamente es un método matemático" (Lozano, y otros, 2011, pág. 26).

3.7.4. Metodología holística.

Esta metodología requiere de datos muy específicos para la determinación del caudal ecológico, tal como: información económica, social, registros estadísticos de caudales, entre otros. Adicionalmente, considera aspectos ambientales, estéticos, culturales y ecosistemáticos. (Vilchez, 2010, pág. 7).

A continuación, se describen los métodos holísticos más relevantes:

3.7.4.1. Método de Building Block - Aproximación Bottom-up.

La determinación de los caudales ecológicos para este método, analiza factores socioeconómicos y ecológicos, a través de criterios de expertos y de investigaciones ya realizadas.

El método determina el caudal ecológico inicialmente desde caudales de flujos mínimos hacia caudales altos progresivamente. (Jamett & Rodrigues, 2005, pág. 86).

3.7.4.2. Método *BBM* (*Building Block Methodology*).

Es uno de los métodos más utilizados a nivel mundial, segundo después de la metodología IFIM. Es muy similar a la metodología Building Block; con la diferencia que éste, estima el caudal ecológico tomando valores altos a valores bajos de caudales. (King, Tharme, & Villiers, 2008, pág. 30).

Así mismo, selecciona aspectos hidrológicos relevantes, los mismos que influyen de forma directa en el hábitat. Posteriormente a la selección, se toman tramos de referencia de un cauce y se determina el caudal ecológico a través de las variaciones del caudal original.

3.8. Sistemas de información geográfica

"Son sistemas complejos que integran una serie de distintos elementos interrelacionados. El estudio de todos y cada uno de estos elementos es el fundamento para el estudio global de los Sistemas de Información Geográfica" (Olaya, 2011, pág. 15).

Partiendo de esta definición, el manejo del software se torna fundamental al momento de definir criterios que corresponden a la investigación de este proyecto de titulación, tales como mapas donde se evidencie la vegetación, recursos hídricos, tipo y usos de suelos y ubicación geográfica de la zona.

Convirtiéndose en una herramienta muy importante para conocer parte de los elementos de interés en la representación de la cartografía en la zona de estudio.

CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El capítulo 4, desarrolla una descripción de la línea base del área de estudio, donde se verá la información general de la microcuenca (límites, ubicación); de igual manera se presenta el medio físico, biótico y social del área de interés.

4.1. Información general de la microcuenca

4.1.1. Ubicación.

La microcuenca del río Rondococha se encuentra ubicada en la región Sierra, al norte del territorio ecuatoriano.

- **Política**

Región: Sierra
Provincia: Pichincha
Cantón: Cayambe
Parroquia: Cangahua
Comunidad: Pisambilla

- **Geográfica**

Se localiza en la parroquia de Cangahua, comunidad de Pisambilla, la zona de estudio limita al Sureste con la provincia de Napo, y se ubica entre los 3810 y 3865 m.s.n.m. (Anexo 1.Ubicación geográfica de la zona de estudio).

A continuación se presentan las coordenadas UTM correspondiente a la ubicación de la zona del proyecto:

Tabla 6. Coordenadas de la ubicación del proyecto

Coordenadas	Norte	Sur
Latitud N	9990518	9986479
Longitud E	824936	831739

Fuente: UPS, 2013.

- **Límites y ubicación de la microcuenca en estudio**

Cuenta con una extensión total de 22.368 Km² y limita con:

- Norte: Loma Murochupa y Loma Murofilo
- Sur: Loma Tane
- Este: Río Sarayacu
- Oeste: Loma Contrayerva y Loma Yanacocha

La delimitación de la microcuenca se realiza a partir del río Rondococha (Anexo 2: Mapa de ubicación del proyecto de riego); debido a que este río recibe la aportación de caudal directamente a través de las vertientes (Tabla 7), mismo caudal que se aprovechará para el proyecto de riego en la comunidad de Pisambilla.

Tabla 7. Aportación hídrica de las vertientes para el proyecto de riego en Pisambilla

Nombre de la Vertiente	Cota (msnm)	Latitud N	Longitud E
Piedra Pintada -1	3.840	9°986.412	831.841
Piedra Pintada -2	3.835	9°986.479	831.739
Piedra Pintada -3	3.831	9°986.583	831.522
YanaJakaTurubamba	3.811	9°986.659	830.019
Tane Filo	3.801	9°987.173	829.223

Fuente: SENAGUA, 2006.

4.2. Medio físico

4.2.1. Meteorología.

Los datos meteorológicos que fueron utilizados para el análisis de los distintos parámetros climáticos en el área de estudio, fueron facilitados por el INAMHI. Estas estaciones seleccionadas se encuentran en la cuenca del río Esmeraldas y en la cuenca del río Napo, por su cercanía al área de interés, ya que dentro de la mencionada zona no existe una estación meteorológica (Anexo 3).

Sin embargo, los datos de precipitación fueron ponderados, con la finalidad de obtener información preliminar para realizar los cálculos posteriores. Se detalla de mejor manera éste procedimiento en el capítulo 5.

Así mismo, para el estudio de estos parámetros climáticos, se tomó como referencia datos estadísticos pertenecientes a 10 años (Anexo 4).

Se presentan a continuación las estaciones meteorológicas seleccionadas.

Tabla 8. Estaciones meteorológicas en el estudio.

Nombre de la estación Meteorológica	Código	Cuenca
VICTORIA INHERI	M009	Esmeraldas
CANGAHUA	M344	Esmeraldas
CUYUJA	M436	Napo

Fuente: INAMHI, 2013

4.2.1.1. Precipitación.

La precipitación es uno de los parámetros más influyentes en la dinámica de los ciclos vitales dentro de los ecosistemas; así como también es un factor importante en la aportación hídrica de una cuenca (para el caso en estudio microcuenca); puesto que, aquí se producen las interacciones de las actividades antrópicas y la reacción del ambiente ante estas acciones.

En la tabla siguiente, se presenta los valores de precipitación multianual de las tres estaciones seleccionadas a partir de los datos estadísticos proporcionados por el INAMHI.

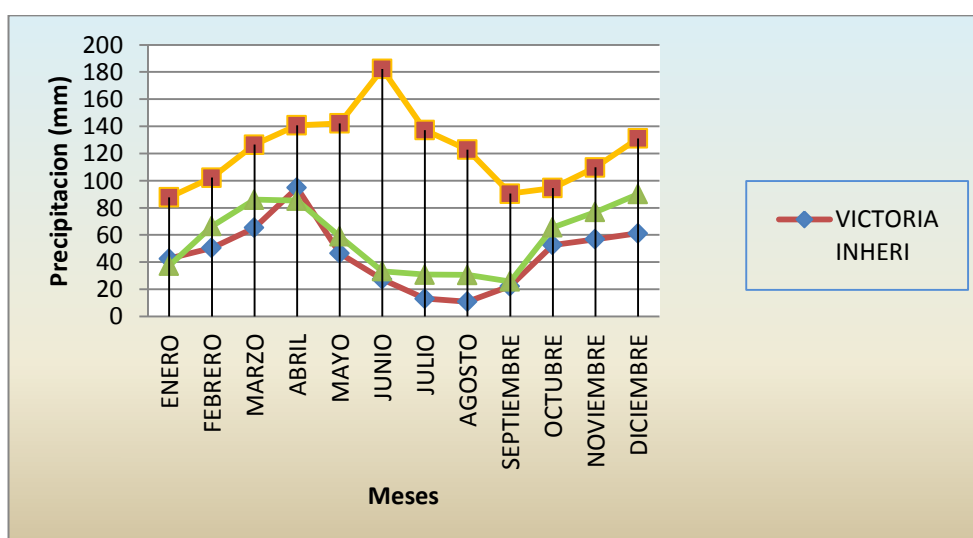
Tabla 9. Precipitación Multianual (mm) para las estaciones seleccionadas.

MESES	ESTACIÓN		
	VICTORIA INHERI	CANGAHUA	CUYUJA
Enero	42,65	37,35	87,78
Febrero	50,53	66,54	102,27
Marzo	65,32	85,97	126,54
Abril	94,77	85,27	140,78
Mayo	46,48	58,99	142,17
Junio	27,4	33,33	182,23
Julio	13,11	30,84	137,29
Agosto	10,89	30,58	122,85
Septiembre	22,28	25,71	90,48
Octubre	52,59	65,62	94,54
Noviembre	56,86	76,9	109,76
Diciembre	61,23	90,11	131,14
Total	544,11	687,21	1467,83

Fuente: INAMHI

En las siguientes figuras, se observa de mejor manera las precipitaciones mensuales suscitadas durante los 10 años (desde el 2003 al 2012), tomados para el estudio (Figura7), y para cada uno de los años en las estaciones seleccionadas (Figura 8).

Figura 7. Histograma de precipitaciones media mensual multianual para las estaciones seleccionadas

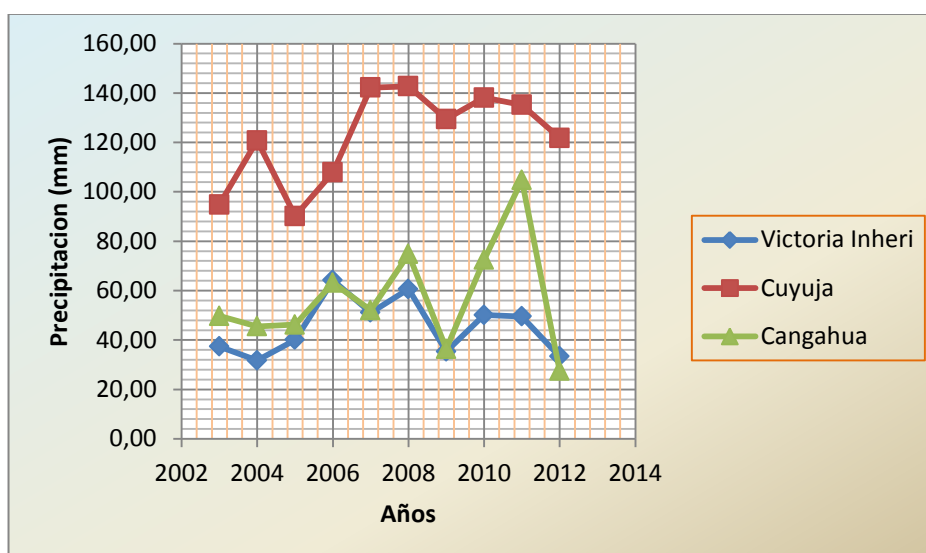


Elaborado por: Paulina Carrasco

La figura 7, presenta una bimodalidad, pues se aprecia un aumento de las precipitaciones en el mes de marzo y abril que suponen ser en la época de invierno, esto para las estaciones de la cuenca del río Esmeraldas, y para la estación que se encuentra en la cuenca del río Napo presenta un incremento considerable de la precipitación en el mes de junio.

Así mismo se evidencia una disminución de la precipitación desde los meses de mayo a septiembre, para las estaciones de Cangahua y Victoria Inheri, y desde julio a febrero para la estación Cuyuja.

Figura 8. Histograma de precipitaciones anuales por estación meteorológica



Elaborado por: Paulina Carrasco

En cuanto a la figura 8, la precipitación máxima presente en la estación Cangahua, es en el año 2011, con el valor de 74,79 mm; en la estación Victoria Inheri en el año 2006 y la estación Cuyuja, en el año 2008; con precipitaciones de 64,18 mm; y 142,71 mm.; respectivamente.

Los datos meteorológicos, fueron corroborados con el mapa de Isoyetas propuesto para la parroquia Cangahua. (Anexo 5).

4.2.1.2. Temperatura.

Al momento de definir la temperatura, se considera la importancia de ésta en los ecosistemas, puesto que cada organismo tiene rangos óptimos para su desarrollo.

La temperatura presentada para la zona de estudio, se encuentra reflejada en datos meteorológicos de la estación Victoria Inheri (Anexo 6), que se localiza en la cuenca del río Esmeraldas. Adicionalmente, al análisis de los datos estadísticos, se toma en consideración la temperatura a través del mapa de isotermas del INAMHI. (Anexo 7).

En la siguiente tabla, se identifican los valores de temperatura mensual multianual de la estación Victoria Inheri, cuyos valores de temperatura fluctúan desde los 17,1, °C a los 17,54 °C.

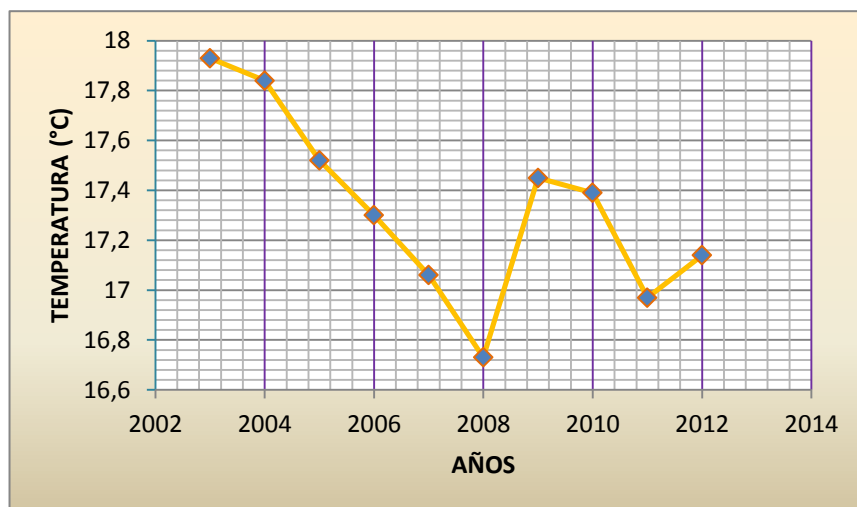
Tabla 10. Temperatura anual (°C) para la estación Victoria Inheri

MESES	ESTACIÓN
	VICTORIA INHERI
Enero	17,4
Febrero	17,4
Marzo	17,5
Abril	17,4
Mayo	17,5
Junio	17,1
Julio	17,1
Agosto	17,4
Septiembre	17,4
Octubre	17,4
Noviembre	17,3
Diciembre	17,1
Promedio	17,3

Fuente: INAMHI

En la figura 9, se observa que en el año 2008 existe una disminución de la Temperatura a 16,73 ° C, así mismo, la máxima temperatura presentada en el análisis de la información es en el año 2003 con 17,93°C.

Figura 9. Temperatura media mensual estación Victoria Inheri



Elaborado por: Paulina Carrasco

4.2.1.3. Viento.

En la siguiente tabla se presenta la velocidad y la dirección del viento para la estación Victoria INHERI.

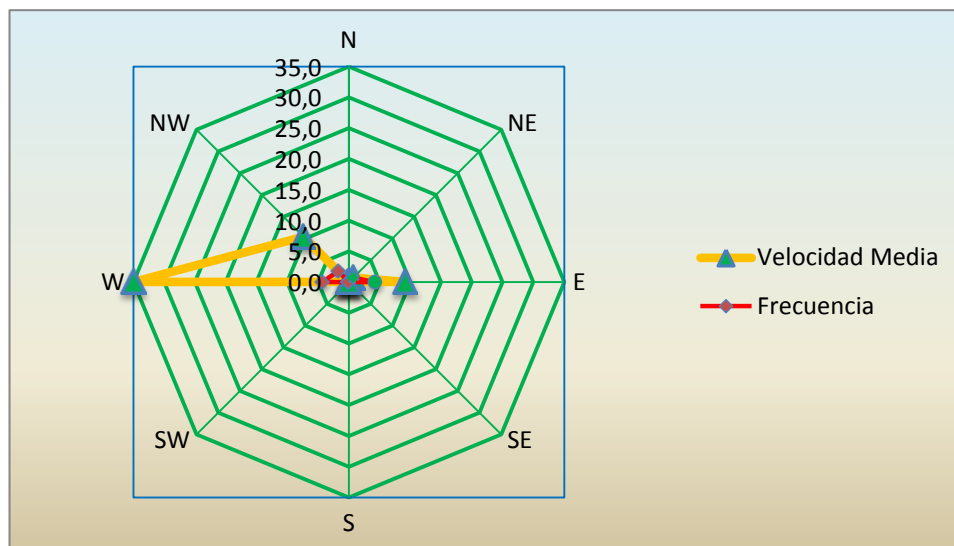
Tabla 11. Velocidad del viento (m/s); estación Victoria Inheri

MESES	ESTACIÓN
	VICTORIA INHERI
Enero	3,56
Febrero	3,3
Marzo	3,39
Abril	3,41
Mayo	3,47
Junio	3,58
Julio	4,63
Agosto	4,34
Septiembre	4,4
Octubre	3,71
Noviembre	3,27
Diciembre	3,51
Promedio	3,7

Elaborado por: Paulina Carrasco

La velocidad del viento se grafica a través de la rosa de los vientos, en la cual la dirección del viento predomina hacia el oeste; con una velocidad media de 3,7 m/s.

Figura 10. Rosa de los Vientos estación Victoria Inheri



Elaborado por: Paulina Carrasco

4.2.2. Hidrología.

4.2.2.1. Descripción de la hidrología en el área de estudio.

La hidrografía del área de estudio, del proyecto de intervención de riego para la comunidad de Pisambilla, pertenece a la subcuenca alta del río Guayllabamba, y ésta a su vez, es parte de la cuenca del río Esmeraldas. Hay que añadir que el área de interés limita con la cuenca del río Napo. (Anexo 8).

De igual manera, se observa particularmente que las microcuencas que limitan con la zona de investigación son las siguientes:

- Microcuenca del río Guachalá
- Microcuenca de la Quebrada Buitreyacu

Adicionalmente, la microcuenca cuenta con varios afloramientos provenientes de las vertientes concesionadas que pertenecen a la comunidad de Pisambilla, entre ellas las

que se mencionaron en la tabla 7. Las cuales son cercanas al límite de la cuenca del río Napo.

Existen ríos que forman parte de la zona de estudio como:

- Río Rondococha,
- Río Guachalá, y
- Río Natagacho.

4.2.3. Clima.

El área de estudio, se presenta sobre los 3200 m.s.n.m. y es conocido como clima ecuatorial de alta montaña. (Anexo 9).

A continuación se describe las características más sobresalientes del mencionado clima:

- **Clima ecuatorial de alta montaña (Zona de estudio)**

Posee una temperatura media de 7 ° C, pero puede variar dependiendo de la altitud, por esta razón la temperatura oscila entre los valores de 0°C (mínima), hasta los 20°C (máxima).

Sus precipitaciones van desde los 800 a 2000 mm/año; y suelen presentarse con larga duración pero poca intensidad.(Fundación Antisana, 1998, pág. 16).

4.2.4. Geología.

En cuanto a la geología del área donde se desarrolla el proyecto de riego de la comunidad Pisambilla, se encuentran rocas de tipo andesíticas a riolitas y piroclásticos; así como también rocas de tipo granito gneisico per-alumínico; del periodo Mioceno, Plioceno, y Triásico, características de la formación volcánica Pisayambo.(Anexo 10). (MAGAP³, 2002).

³Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca

4.2.4.1. Litología.

De acuerdo a la información cartográfica obtenida del MAGAP, se realizó un mapa sobre características del suelo presentes en el estudio, en las cuales se encontraron los siguientes órdenes de suelos para la zona de interés (Anexo 11).

- **Entisol**

Son suelos que se caracterizan por ser inmaduros, poco desarrollados, poco profundos, con exceso de humedad, con alta susceptibilidad a sufrir erosión hídrica. Se localizan en los bordes de los ríos y en cimas de montañas donde el frío retarda su evolución (Méndez & Monge, 2003, pág. 58).

- **Histosol**

“Suelos orgánicos con saturación de agua durante seis meses o más cada año”(Méndez & Monge, 2003, pág. 59).

- **Inceptisol**

“Suelos ligeramente más desarrollados que los entisoles. Son suelos de origen muy recientes. Cierta tipo presentan materia orgánica”(Méndez & Monge, 2003, pág. 59).

4.2.5. Uso de suelo.

De acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia de Cangahua, el mayor porcentaje de uso del suelo lo ocupa la actividad agrícola con 82,15% del área total de la parroquia, seguida de actividad forestal con uso agropecuario.(Gobierno de Pichincha, 2012, pág. 67)

En el anexo 12, se presenta el mapa de uso de suelo para la parroquia de Cangahua, dentro del mismo se incluye el área de estudio, donde se evidencia que la ocupación del suelo es utilizado para la conservación y protección del mismo y se ubica en la zona páramo.

Los páramos han sufrido épocas de transición, puesto que la frontera agrícola ha ido creciendo con el transcurso de los años, sumado a esto el incremento del pastoreo intensivo en estas zonas. Lo que ha provocado la disminución de la flora y fauna nativa del sector.

4.3. Medio biótico

4.3.1. Zonas ecológicas.

El anexo 13, muestra la zona ecológica presente en la zona estudiada, la cual corresponde a bosque muy húmedo montano.

A continuación, se realiza una descripción de las características más significativas de ésta zona ecológica:






- **Bosque muy húmedo montano**

Se ubica entre los 3000 y 3500 m.s.n.m. sus temperaturas son bajas, con una precipitación anual promedio de 1000 a 2000 mm. (Gobierno de la provincia de Pichincha, s/f, pág. 84).

4.3.2. Flora.






A continuación se presentan las especies observadas en el trabajo de campo en el área de interés:

Tabla 12. Flora sector área de estudio

DESCRIPCIÓN	IMAGEN
<p>Nombre Científico: <i>Clinopodium Nubigenum</i>.</p> <p>Familia: Lamiaceae.</p> <p>Subfamilia: Nepetoideae.</p> <p>Género: Clinopodium.</p> <p>Nombre Común: Sunfo.</p>	
<p>Nombre Científico: <i>Lycopodium magellanicum</i></p> <p>Clase: Lycopodiopsida</p> <p>Orden: Lycopodiales</p> <p>Familia: Lycopodiaceae</p> <p>Género: Lycopodium</p>	
<p>Nombre Científico: <i>Hesperomeles obtusifolia</i></p> <p>Clase: Magnoliopsida</p> <p>Orden: Rosales</p> <p>Familia: Rosaceae</p> <p>Género: Hesperomeles.</p>	
<p>Nombre Científico: <i>Calamagrostis intermedia</i></p> <p>Clase: Liliopsida</p> <p>Orden: Cyperales</p> <p>Familia: Poaceae</p> <p>Género: Calamagrostis</p> <p>Nombre común: Paja.</p>	
<p>Nombre Científico: <i>Lycopodium clavatum</i></p> <p>Clase: Lycopodiopsida</p> <p>Orden: Lycopodiales</p> <p>Familia: Lycopodiaceae</p> <p>Género: Lycopodium</p> <p>Nombre común: Musgo de páramo</p>	

Continúa...

Tabla 12. Flora sector área de estudio (Continuación...)

DESCRIPCIÓN	IMAGEN
<p>Nombre Científico: <i>Hypericum laricifolium</i> Juss</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p> <p>Orden: Theales</p> <p>Familia: Hypericaceae</p> <p>Género: Hypericum</p> <p>Nombre común: Romerillo</p>	
<p>Nombre Científico: <i>Chuquiraga jussieui</i></p> <p>Clase: Magnoliopsida</p> <p>Orden: Asterales</p> <p>Familia: Asteraceae</p> <p>Género: Chuquiraga</p> <p>Nombre común: Chuquiragua.</p>	
<p>Nombre Científico: <i>Cortaderia nitida</i></p> <p>Clase: Plantae</p> <p>Orden: Cyperales</p> <p>Familia: Poaceae</p> <p>Género: Cortaderia</p> <p>Nombre común: Sikse.</p>	
<p>Nombre Científico: <i>Anthoxanthum odoratum</i></p> <p>Clase: Liliopsida</p> <p>Orden: Cyperales</p> <p>Familia: Poaceae</p> <p>Género: Anthoxanthum</p>	
<p>Nombre Científico: <i>Gunnerama gellanica</i> lam</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p> <p>Orden: Halogarales</p> <p>Familia: Haloragaceae</p> <p>Género: Gunnera</p> <p>Nombre común: Conejo kiwa</p>	

Fuente: Investigación en Campo, 2013

4.3.3. Fauna.

Dentro del recorrido que se mantuvo en el sector, no se encontró ningún tipo de especie; sin embargo, por la descripción de los moradores de la comunidad, existen osos que no superan el metro de altura, además de la presencia de zorros de páramo.

Así mismo mencionaron, que en los ríos se evidencia fauna acuática, entre ellos los peces conocidos como Truchas.

4.4. Medio social

La información del medio social, es tomada a través del INEC⁴, y de encuestas realizadas por la Universidad Politécnica Salesiana. Para el análisis del medio social se maneja los siguientes términos:

Tabla 13. Términos utilizados para el análisis del medio social

TÉRMINOS	DETALLE
Población de referencia	Población total del área de influencia del proyecto. (Población del cantón Cayambe).
Población demandante potencial	Parte de la población de referencia que requiere los bienes o servicios, pero no necesariamente lo requerirá del proyecto. (Población urbana del cantón Cayambe).
Población demandante efectiva	Población que requiere y demanda efectivamente de los bienes y servicios ofrecidos por el proyecto. (Población rural agrícola del cantón que tiene las condiciones y es susceptible de acceder al agua para riego - Parroquia de Cangahua).
Población objetivo	Población beneficiaria que va a ser atendida por el proyecto. (La comunidad de Pisambilla).

Fuente: Universidad Politécnica Salesiana, 2013

4.4.1. Demografía.

De acuerdo con el INEC, 2010, el cantón Cayambe cuenta con una población total de 85.795 habitantes. De ellos el 19%, se encuentran en la parroquia de Cangahua.

⁴ Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

En el presente trabajo, no se establece el número total de personas que habitan en la comunidad de Pisambilla; debido a que, no se cuenta con esta información; sin embargo, de acuerdo con el proyecto de riego propuesto para la comunidad, la población objetivo beneficiada son 366 habitantes.

A continuación se muestra la distribución de los habitantes en el cantón Cayambe:

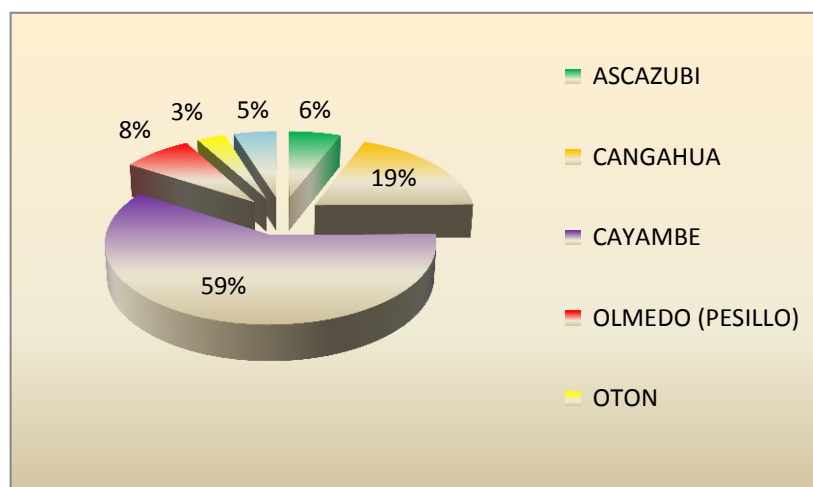
Tabla 14. Población total cantón Cayambe

CANTÓN	PARROQUIA	URBANO	RURAL	Total
CAYAMBE	ASCAZUBI	-	5.050	5.050
	CANGAHUA	-	16.231	16.231
	CAYAMBE	39.028	11.801	50.829
	OLMEDO (PESILLO)	-	6.772	6.772
	OTON	-	2.766	2.766
	SANTA ROSA DE CUZUBAMBA	-	4.147	4.147
	Total	39.028	46.767	85.795

Fuente: INEC, 2010

La figura 11 presenta la información del número de habitantes para el cantón Cayambe, en donde se observa que la parroquia Cangahua es la más poblada ocupando el segundo lugar en el cantón, representando el 19% del total de la población.

Figura 11. Población total cantón Cayambe



Elaborado: Paulina Carrasco

Así mismo, se presenta información actualizada del número de habitantes, presentes en el área rural del cantón

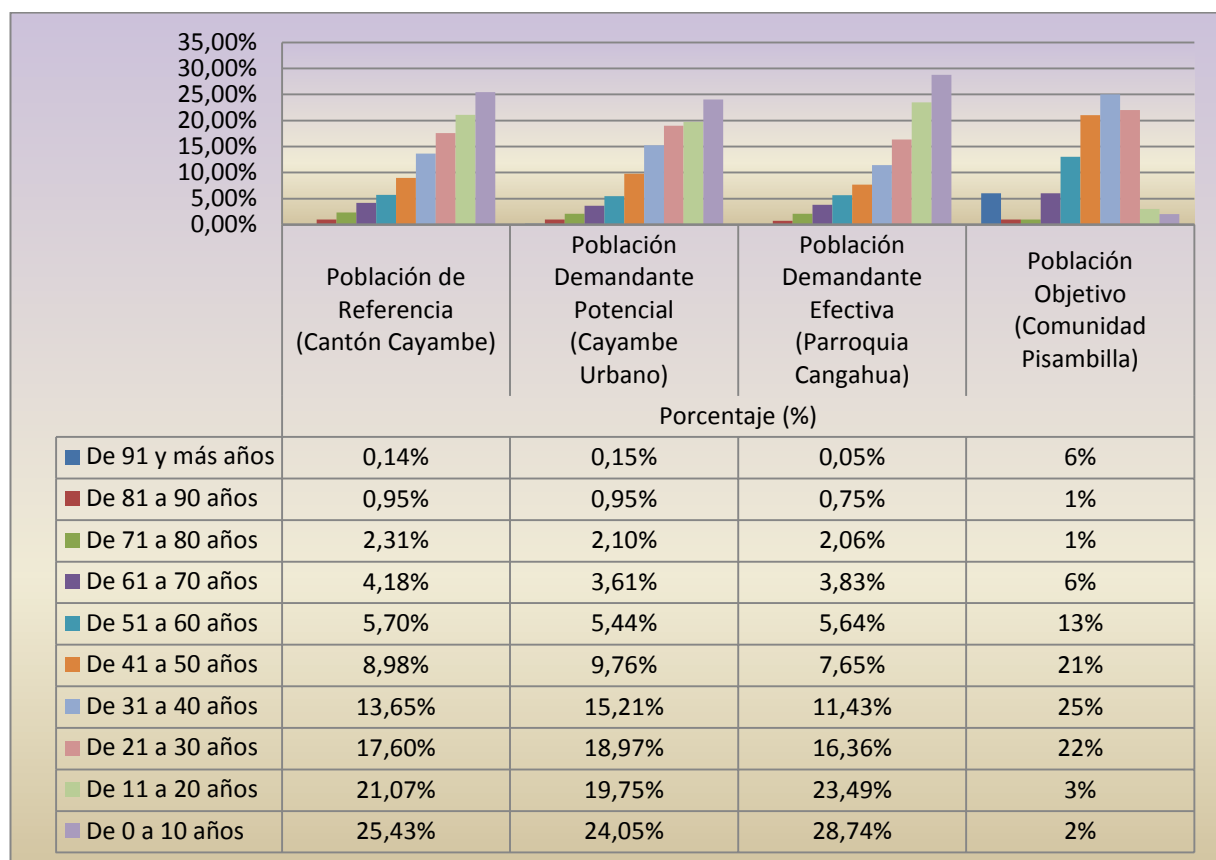
Tabla 15. Población beneficiada: Pisambilla 2013

Población	Número
Población objetivo	366
Población rural Cantonal	49.247
Población rural provincial	1'072.784

Fuente: Universidad Politécnica Salesiana, 2013

En la figura siguiente, se evidencia que la mayor parte de habitantes del cantón Cayambe y la parroquia de Cangahua, presentan un alto porcentaje entre las edades de 0 a 10 años. Sin embargo, en la población objetivo el 25% (porcentaje más alto), corresponde a las edades comprendidas entre los 31 a 40 años.

Figura 12. Grupos de edades de la comunidad Pisambilla



Fuente: INEC, 2010; UPS⁵, 2013

En cuanto a los grupos étnicos, para la población de referencia y la población demandante potencial; el grupo más sobresaliente es el mestizo con 60,66% y 83,70% respectivamente. Y para la parroquia Cangahua y la comunidad de Pisambilla, la étnia que predomina es la indígena.

⁵ Universidad Politécnica Salesiana

Tabla 16. Grupos étnicos (%) de la comunidad de Pisambilla

Étnias (%)	Población			
	Población de referencia (Cantón Cayambe)	Población demandante potencial (Cayambe Urbano)	Población demandante efectiva (Parroquia Cangahua)	Población objetivo (Comunidad Pisambilla)
Indígena	33,87%	7,57%	83,94%	49,99%
Afroecuatoriano/a	2,33%	3,73%	0,22%	0,64%
Montubio/a	1,04%	1,70%	0,10%	0,56%
Mestizo/a	60,66%	83,70%	15,38%	47,65%
Blanco/a	1,91%	2,96%	0,23%	0,78%
Otro/a	0,20%	0,34%	0,13%	0,39%
Total	100%	100%	100%	100%

Fuente: INEC, 2010; UPS, 2013.

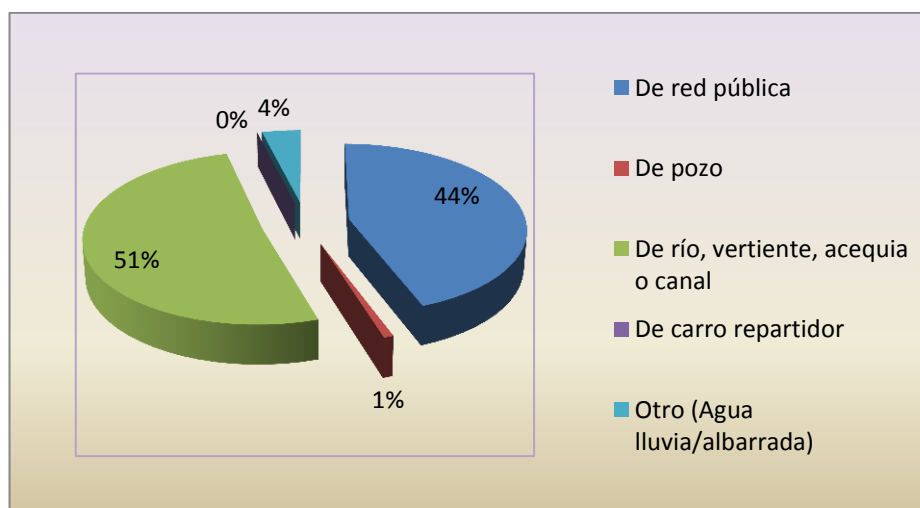
4.4.2. Servicios básicos.

Los servicios básicos que se describen a continuación corresponden a la parroquia de Cangahua, debido a que en la comunidad de Pisambilla la información detallada para esta parte del análisis era insuficiente.

• Agua.

En la siguiente figura se muestra, el agua recibida en las viviendas de la parroquia de Cangahua de acuerdo a su procedencia:

Figura 13. Procedencia de agua en la parroquia de Cangahua



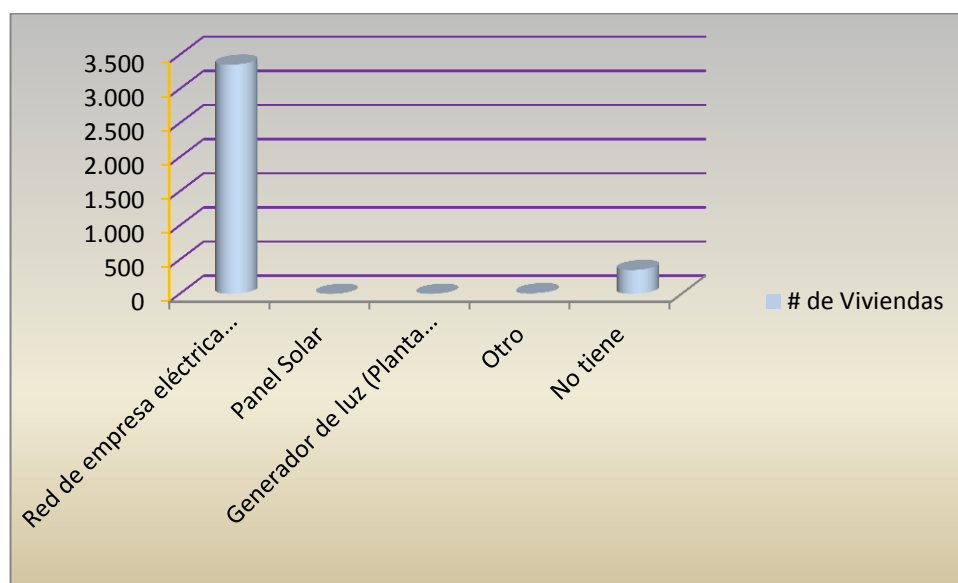
Fuente: INEC, 2010.

La mayoría de viviendas, de la parroquia Cangahua se abastece principalmente de agua que proviene de ríos, acequias, vertientes; en total 1896 viviendas que corresponde al 51% del total de los hogares.

- **Energía eléctrica**

La energía eléctrica en su mayoría (90%), proviene de la red de empresa de servicio público. Tal como se representa a continuación.

Figura 14. Energía eléctrica en la parroquia Cangahua

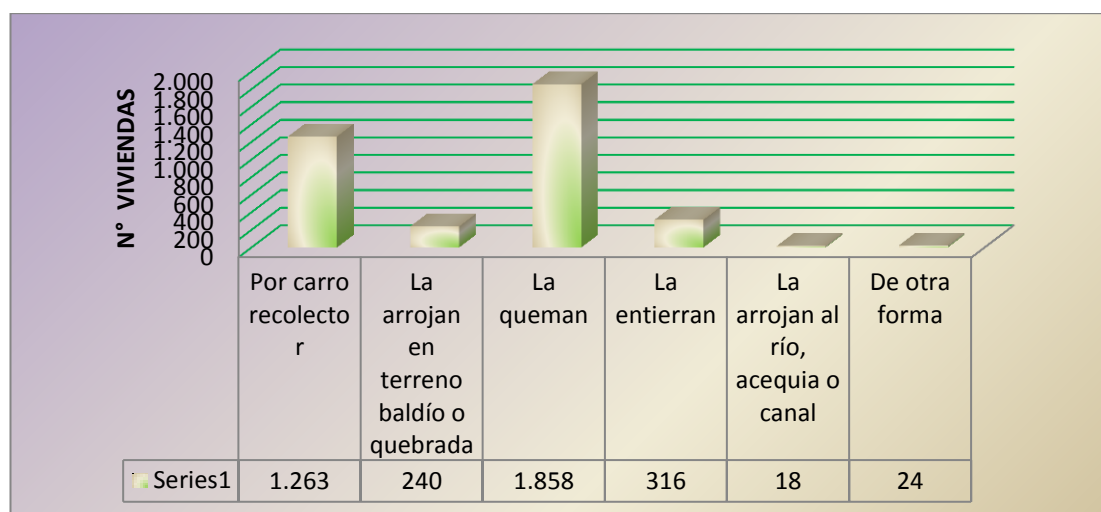


Fuente: INEC, 2010.

- **Eliminación de basura**

La eliminación de la basura en la parroquia de Cangahua, es realizada a través de distintos procedimientos, tal y como lo presenta la Figura 15.

Figura 15. Eliminación de basura en la parroquia de Cangahua



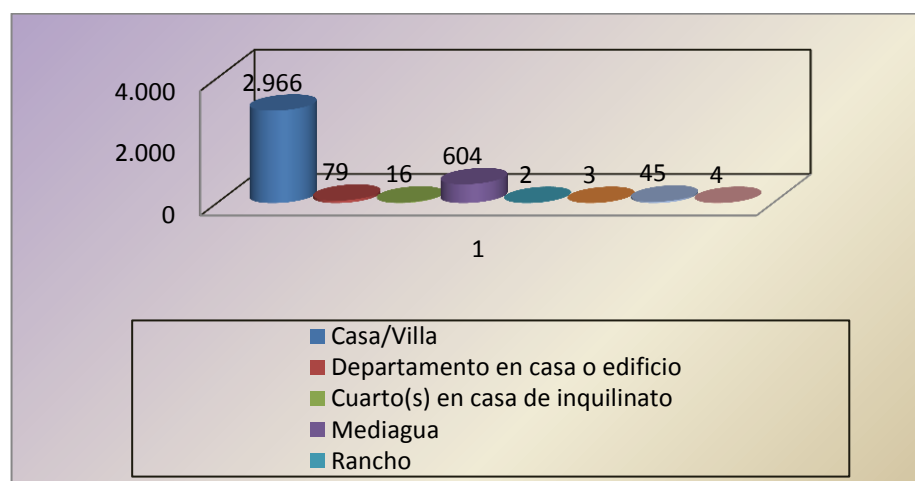
Fuente: INEC, 2010

Como se puede apreciar, el destino final que le dan a los desechos generados preferentemente en la mayor parte de viviendas es la quema, seguida por el servicio de recolección.

• Vivienda

Se identifica claramente, en la Figura 16, que la parroquia de Cangahua presenta 2966 viviendas consideradas como casas o villas, seguidas de 604 viviendas en forma de mediagua.

Figura 16. Tipo de vivienda en la parroquia de Cangahua



Fuente: INEC, 2010

CAPÍTULO 5

MÉTODOS Y CÁLCULOS

En el presente capítulo, se desarrolla paso a paso la metodología para determinar el caudal ecológico en la zona estudiada, partiendo de la recopilación de información para posteriormente sistematizarla y definir el caudal ecológico (Qe).

5.1. Recopilación de información

5.1.1. Información cartográfica.

Para el planteamiento de la metodología, se recopiló información cartográfica, a escala 1:50.000. Las fuentes de información, fueron obtenidas en las siguientes instituciones públicas:

- Instituto Geográfico Militar-IGM
- Ministerio del Ambiente del Ecuador -MAE
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI
- Instituto Nacional de Estadística y Censos- INEC

5.1.2. Información meteorológica.

La información meteorológica se obtuvo a través del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI. Estas estaciones fueron seleccionadas por la cercanía a la zona de estudio; pues en el lugar no existen estaciones meteorológicas disponibles; sin embargo, se realizó una ponderación de las mismas para obtener una precipitación media representativa en la microcuenca.

Las estaciones seleccionadas se encuentran a continuación:

Tabla 17. Estaciones meteorológicas seleccionadas

Nombre de la estación Meteorológica	Código	Latitud	Longitud	Altura m.s.n.m
VICTORIA INHERI	M009	0° 3 ' 36" S	78°12' 2" W	2262.00
CANGAHUA	M344	0° 3' 26" S	78° 10' 2" W	3140.00
CUYUJA	M436	0° 25' 0" S	78° 2' 58" W	2380.00

Fuente: INAMHI

5.2. Relleno de datos faltantes

Uno de los problemas encontrados durante el desarrollo de la metodología, es la escasez de datos en los registros meteorológicos entregados por el INAMHI.

Sin embargo, los datos fueron rellenados a través del Coeficiente de Pearson. Dicho coeficiente trabaja con dos variables una independiente y otra dependiente.

En este caso, para el relleno de los datos de precipitación se tomó a la variable independiente a la estación que mostraba los datos completos en el anuario meteorológico, y a la variable independiente a la que presentaba datos faltantes.

La relación presentada en este coeficiente es de tipo lineal y se encuentra en los valores que oscilan entre -1 a +1.(Rodriguez, Alvarez, & Bravo, 2001, pág. 56).

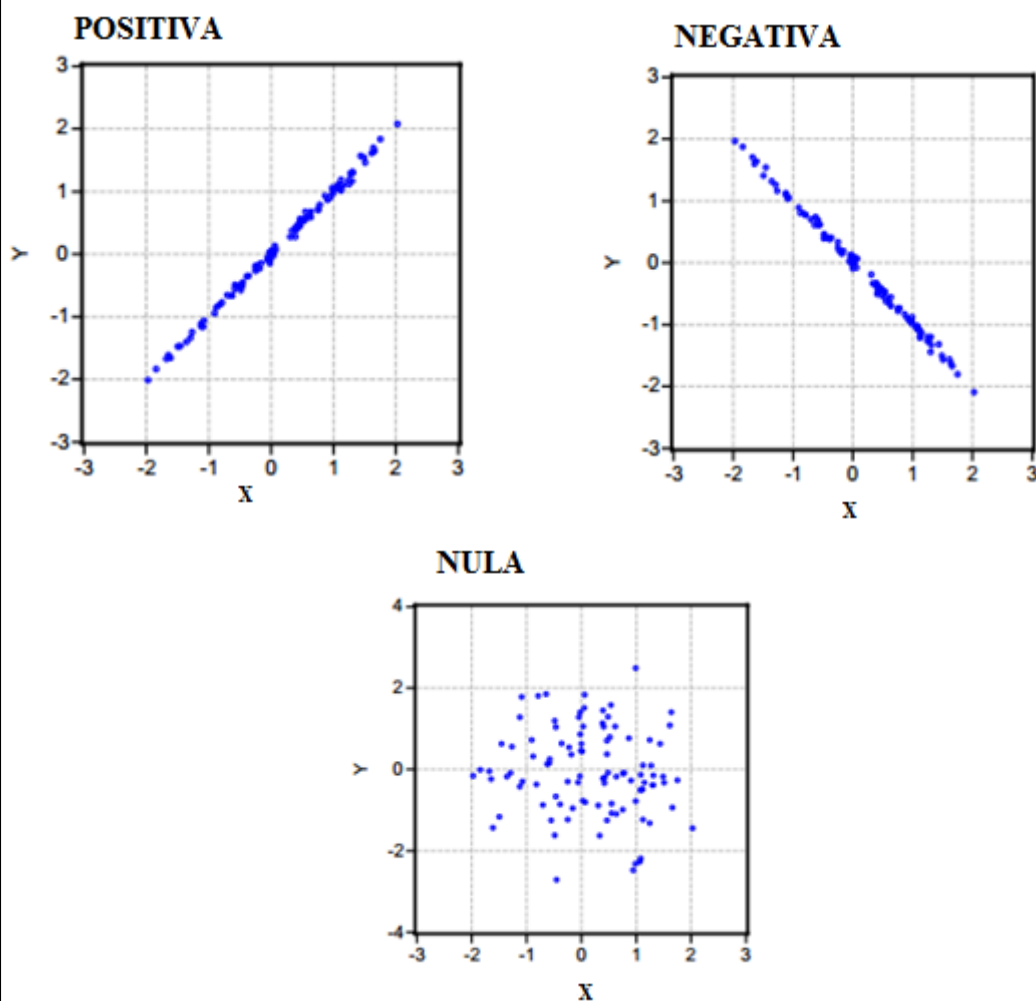
$$-1 \leq r \leq 1$$

Teniendo en cuenta que mientras los valores se aproximan a la unidad (+1), representa el mayor grado de confiabilidad. La correlación puede ser presentada como: (Triola, 2004, pág. 499).

- Correlación lineal positiva
- Correlación lineal negativa
- Correlación lineal nula

Se ilustra a continuación:

Figura 17. Ejemplo de correlación lineal

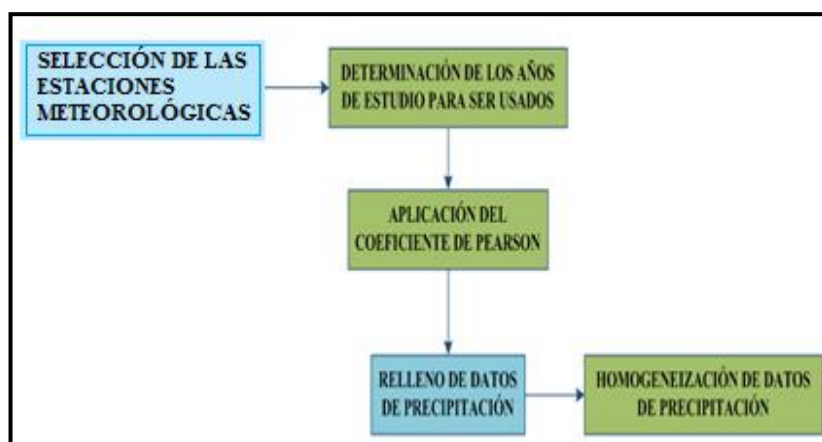


Fuente: (Triola, 2004, pág. 48)

Para el desarrollo de ésta sección del estudio, en primera instancia se procedió a rellenar los datos a través del método de la media aritmética; que consiste en sumar todos los valores presentes y dividirlos para el número total, para posteriormente utilizar el Coeficiente de Pearson y determinar el valor de r y la confiabilidad de la homogeneización de los valores de precipitación a utilizar.

La siguiente figura, presenta la metodología utilizada para el relleno de datos de precipitación:

Figura 18. Metodología para el relleno de datos de precipitación



Elaborado por: Paulina Carrasco

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para esta parte del desarrollo de la metodología.

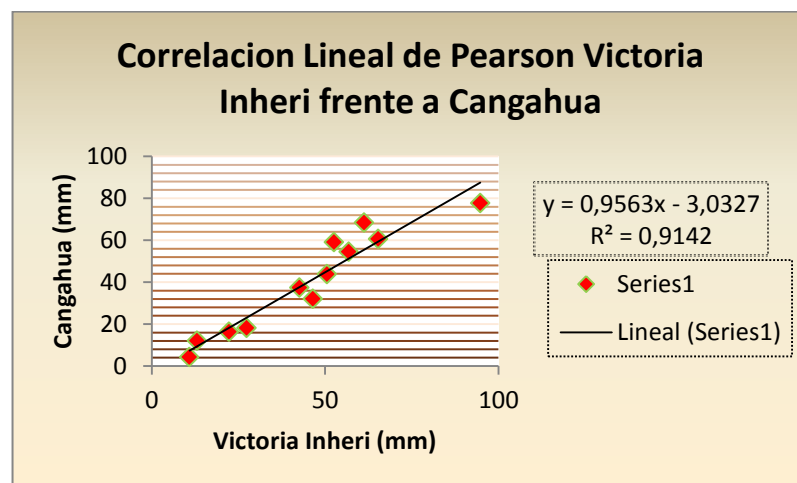
5.2.1. Correlación lineal entre la estación Victoria Inheri (M009) y la estación Cangahua (M344).

Tabla 18. Correlación lineal Victoria Inheri frente a Cangahua

Variable independiente (Victoria Inheri)	Variable dependiente (Cangahua)
42,65	37,35
50,53	43,77
65,32	60,54
94,77	77,67
46,48	32,03
27,4	18,19
13,11	12,05
10,89	4,24
22,28	16,28
52,59	59,09
56,86	54,42
61,23	68,33

Fuente: INAMHI

Figura 19. Correlación lineal de Pearson Victoria Inheri frente a Cangahua



Elaborado por: Paulina Carrasco

Dentro de este contexto, se obtuvo como resultado un coeficiente igual a $r = 0,95$; determinando correlación lineal positiva.

Para el siguiente relleno de datos, se consideró una estación meteorológica adicional presente en la cuenca del río Napo (estación Papallacta; código M188), con la finalidad de comparar los datos de manera más aproximada a los presentes en la estación Cuyuja; misma que se encuentra en la cuenca del río anteriormente mencionado.

Cabe recalcar que la estación Papallacta, únicamente se considera para el relleno de datos en esta parte del estudio.

5.2.2. Correlación lineal entre la estación Papallacta (M188) y la estación Cuyuja (M436).

Tabla 19. Correlación lineal Papallacta frente a Cuyuja

Variable independiente (Papallacta)	Variable dependiente (Cuyuja)
80,16	72,25
81,19	87,11
162,1	109,3
185,98	109,94
187,97	115,99
193,31	173,98

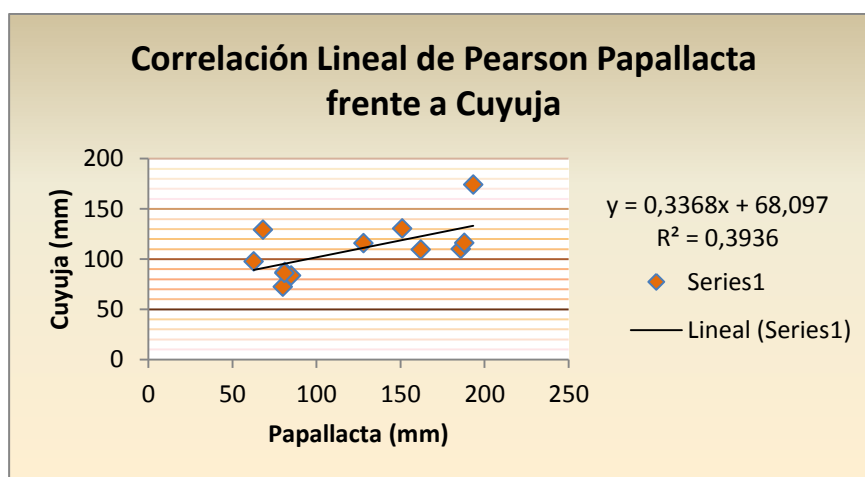
Continúa...

Tabla 19. Correlación lineal Papallacta frente a Cuyuja (continuación...)

Variable independiente (Papallacta)	Variable dependiente (Cuyuja)
151,19	130,36
128,08	115,86
85,09	83,43
81,04	86,05
62,66	97,69
68,32	129,29

Fuente: INAMHI

Figura 20. Correlación lineal de Pearson Papallacta frente a Cuyuja



Elaborado por: Paulina Carrasco

Se obtuvo como resultado que el coeficiente de Pearson es $r = 0,63$, determinando la correlación lineal positiva para ésta estación.

Posterior a la aplicación del coeficiente de Pearson, se realiza el relleno de los datos faltantes en las estaciones que lo necesitan, utilizando las ecuaciones que fueron determinadas para finalmente homogeneizar la información meteorológica.

5.3. Parámetros morfológicos de la microcuenca

5.3.1. Delimitación de la microcuenca.

Como parte fundamental para la determinación del caudal ecológico, es la de delimitar la microcuenca hidrográfica, a fin de visualizar de mejor manera al área del proyecto y realizar los cálculos posteriores para determinar el caudal ecológico.

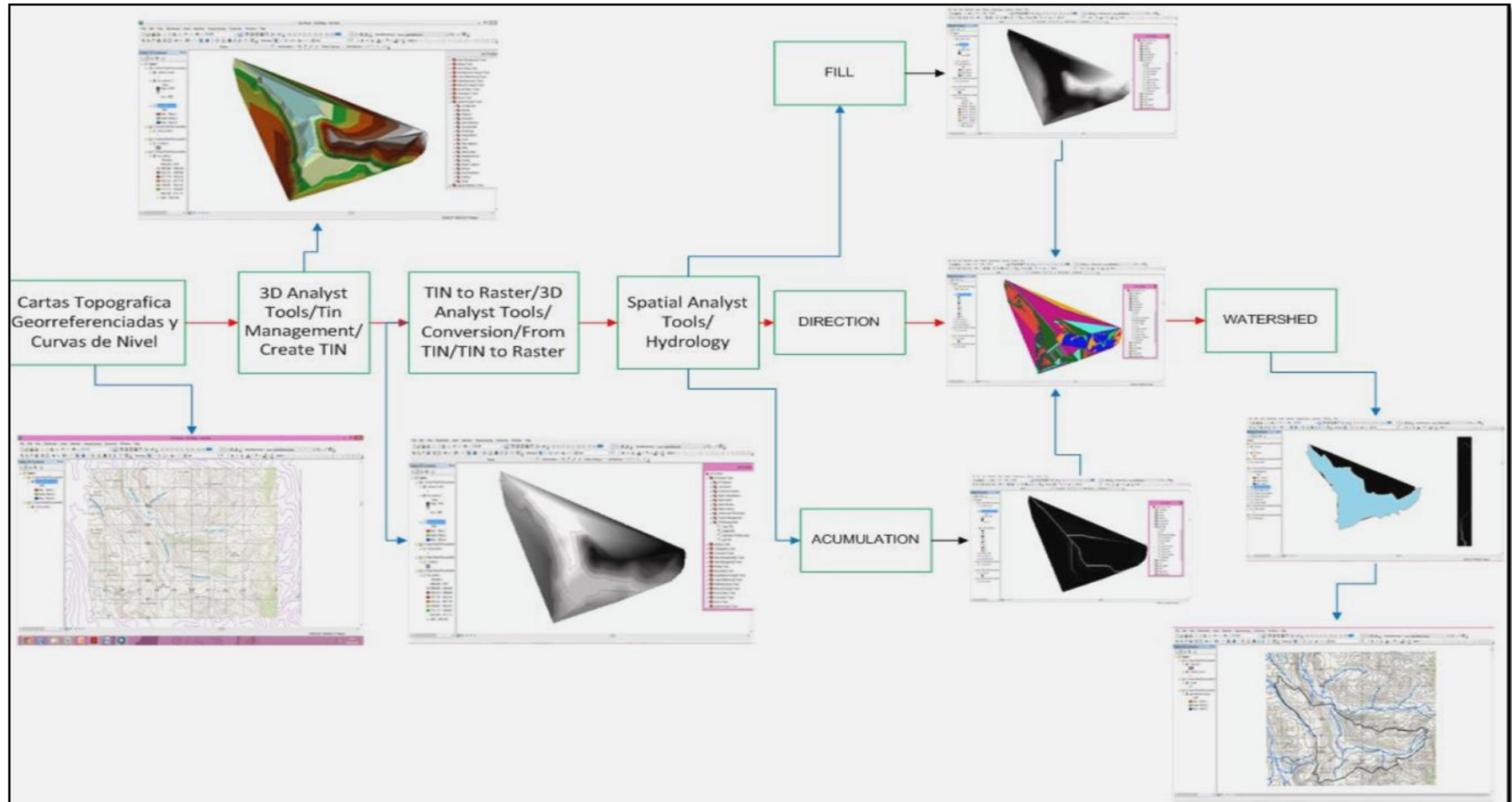
Para el procesamiento de esta información, se utilizó el software ArcGis V10. Como se describe a continuación:

1. Se tomaron las cartas topográficas pertenecientes al área estudiada, las mismas que corresponden a la parroquia de Cangahua y al cerro Saraurco; y fueron georreferenciadas. Posteriormente, se integraron a la aplicación Arcmap del software ArcGis V10.
2. Una vez georreferenciadas las cartas topográficas, se integraron las curvas de nivel (obtenidas desde el IGM⁶), estas curvas como el resto de la información digital se encuentra en WGS184. Zona 17S.
3. Las curvas de nivel, son utilizadas para generar una Red de Triangulación Irregular (TIN), con el cual se genera un modelo de superficie.
4. A través de este modelo de superficie, se genera un archivo tipo Raster llamado Modelo Digital de Elevación, que permite visualizar la elevación del terreno; para seguir con el proceso de la delimitación de la microcuenca.
5. Seguidamente, se utilizó la herramienta Hydrology con la cual se obtuvo la acumulación, dirección, y la delimitación de la cuenca.

A continuación se grafica el proceso de la delimitación de la cuenca con el software ArcGis V10:

⁶ Instituto Geográfico Militar

Figura 21. Delimitación de la microcuenca hidrográfica utilizando el software Arcgis V10



Elaborado por: Paulina Carrasco.

5.3.2. Morfología de la microcuenca.

La caracterización de la microcuenca hidrográfica depende de factores como:

- Uso de suelo
- Vegetación
- Parámetros morfométricos
- Clasificación del tipo de suelo

La definición de estos parámetros morfométricos es esencial para reconocer el comportamiento hídrico de la microcuenca e identificar características del medio ambiente.

Como se mencionó anteriormente, las cuencas (microcuenca para el caso estudiado) hidrográficas de alta montaña proporcionan el recurso hídrico para las diferentes actividades realizadas por el hombre, la definición de la morfología de la cuenca, cuantificará de esta manera los datos que se considerarán posteriormente para determinar el caudal ecológico.

Los parámetros que se describen y se desarrollan a continuación corresponden a los de forma de la microcuenca hidrográfica; a través de ellos se conocerá la velocidad, tiempo y concentración del recurso hídrico en la cuenca.

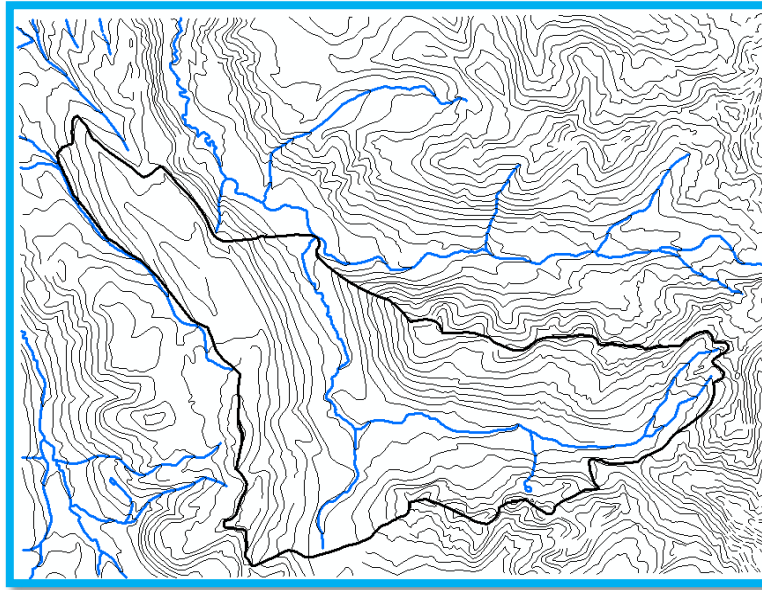
5.3.2.1. Área (A).

El área de una cuenca hidrográfica se define como la superficie total del polígono que delimita al área de drenaje.(Campos, 1998, pág. 23). La misma definición, tiene la microcuenca.

La medición del área, se realiza a través del software ArcGIS versión 10; con el cual, se logra mayor precisión de la medición del área de la microcuenca.

El área para la microcuenca de estudio es de: $A = 22.368 \text{ km}^2$.

Figura 22. Área total de la microcuenca hidrográfica



Elaborado por: Paulina Carrasco.

5.3.2.2. *Perímetro (P).*

El perímetro es la línea que limita a una cuenca (microcuenca para el estudio) de las demás; dicho en otras palabras, es la distancia recorrida de manera lineal por el borde que limita la cuenca. (Roldán & Ramirez, 2008, pág. 70)

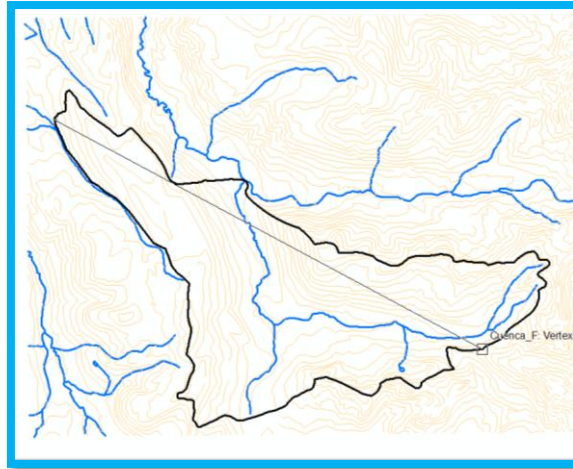
En el estudio el perímetro de la microcuenca corresponde a: $P = 28,882741 \text{ km}$

5.3.2.3. *Longitud axial (La).*

Longitud en línea recta que va desde la desembocadura de la microcuenca hasta el punto más alejado de la misma.

En este caso la longitud axial es de: $La = 9.397 \text{ Km}$.

Figura 23. Longitud axial de la microcuenca hidrográfica.

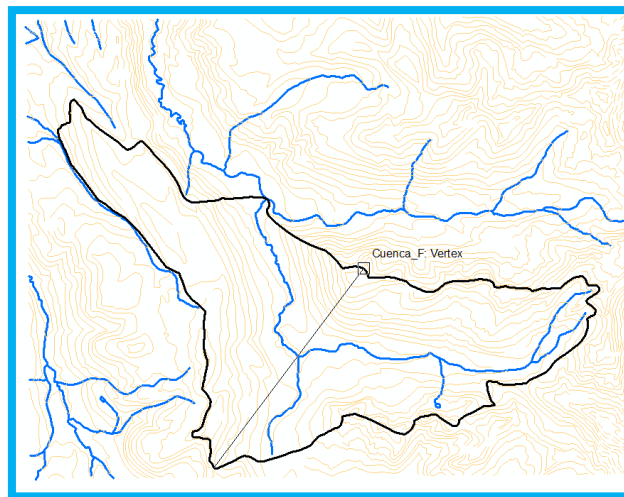


Elaborado por: Paulina Carrasco

5.3.2.4. Ancho total (W_t).

Es la longitud en línea recta, entre dos puntos en una microcuenca hidrográfica. Refiriéndose a esto el ancho de la microcuenca toma el valor de $W_t = 4.372$ km.

Figura 24. Ancho de la microcuenca hidrográfica



Elaborado por: Paulina Carrasco

5.3.2.5. Ancho promedio (W_p).

El ancho promedio de una microcuenca hidrográfica, es la relación existente entre el área total de la microcuenca y su longitud axial.

Ecuación 10: Ancho Promedio de la Microcuenca Hidrográfica

$$Wp = \frac{A}{La}$$

Donde:

Wp: Ancho Promedio

A: Área total de la microcuenca

La: Longitud Axial

$$Wp = \frac{22.3677Km^2}{9.397Km}$$

Para el caso de estudio se obtiene un Wp= 2.38 Km.

5.3.2.6. Factor de forma (Kf).

El factor de forma, permite saber que tan propensa es la microcuenca al aumento de su caudal; referidas a estas con la unidad. Éste factor es adimensional; y es determinada a partir de la relación del ancho promedio de la microcuenca y la longitud axial elevado al cuadrado.(Sheng, 1992, pág. 80).

Ecuación 11: Factor de Forma de una Microcuenca

$$Kf = \frac{A}{La^2}$$

Dónde:

Kf: Factor de forma

A: Área total de la microcuenca

La: Longitud axial de la cuenca

En la siguiente tabla se muestra el factor de forma que tienen las cuencas o microcuencas hidrográficas.

Tabla 20. Factor de forma de las cuencas y microcuencas hidrográficas

Factor de forma	Forma de la cuenca
0.01- 0.18	Muy poco Achatada
0.18- 0.36	Ligeramente Achatada
0.36- 0.54	Moderadamente Achatada

Fuente: (Instituto Nacional de Ecología, 2004, pág. 12)

En cuanto al estudio de la microcuenca hidrográfica se obtuvo un factor de forma igual a 0,25 lo que indica una microcuenca ligeramente achatada, y menos propensa a crecidas.

$$Kf = \frac{22.368 \text{ Km}^2}{(9.397)^2}$$

$$Kf = 0,25$$

5.3.2.7. Coeficiente de compacidad (Kc).

También conocido como coeficiente de Gravelius, este coeficiente se relaciona con la capacidad de los escurrimientos y la precipitación. El coeficiente de compacidad es dimensional. Este coeficiente toma los valores que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 21. Coeficiente de compacidad para una cuenca ó microcuenca hidrográfica

COEFICIENTE DE COMPACIDAD	VALOR	FORMA DE LA CUENCA
Kc1	1 a 1,25	Forma casi redonda a oval - redonda
Kc2	1,25 a 1,5	Forma oval - redonda a oval - alargada
Kc3	1,5 a 1,75	Forma oval – alargada a alargada

Fuente: (Londoño, 2001, pág. 209).

El coeficiente de compacidad es igual a la relación del primero y el área de la microcuenca hidrográfica.

Ecuación 12. Coeficiente de compacidad

$$Kc = \frac{0.28 * P}{\bar{A}}$$

Dónde:

Kc: Coeficiente de compacidad

P: Perímetro de la microcuenca

A: Área total de la microcuenca

$$Kc = \frac{0.28 * 28.882741}{22.368}$$

$$Kc=1,7$$

Para la microcuenca en estudio, el coeficiente de compacidad es oval-alargada, esto indica que concentra bajos volúmenes de agua de escurrimiento; sin embargo la zona de estudio al encontrarse ubicada en el páramo, su tendencia es concentrar volúmenes de agua alta.

Tabla 22. Parámetros morfométricos obtenidos

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	VALORES	UNIDADES	MÉTODO
Área	22.368	Km ²	Software ArcGis V10
Perímetro	28,882741	Km	Software ArcGis V10
Longitud Axial	9.397	Km	Software ArcGis V10
Ancho Total	4.372	Km	Software ArcGis V10
Ancho Promedio	2.38	Km	Matemático $Wp = \frac{A}{La}$
Factor de Forma	0,25	Adimensional	Matemático $Kf = \frac{A}{La^2}$
Coeficiente de Compacidad	1,7	Adimensional	Matemático $Kc = \frac{0.28 * P}{\bar{A}}$

Elaborado por: Paulina Carrasco

5.4. Cálculo del caudal ecológico

5.4.1. Precipitación.

La precipitación, es uno de los datos climáticos necesarios para la evaluación de las cuencas hidrográficas, como balance hídrico, y el caudal ecológico, puesto que permiten definir la aportación hídrica dentro de la cuenca, en este caso de la microcuenca.

En Ecuador, estos registros carecen de datos que puedan proporcionar la precisión en cuanto a la medida de la precipitación; como se mencionó anteriormente, se realizó el relleno y homogenización de los datos meteorológicos de precipitación.

Adicionalmente, se obtuvo cuantificaciones estadísticas que ayudaron a ponderar los valores de precipitación, como desviación estándar, máximas, medias y mínimas precipitaciones, esto con la finalidad de mejorar la confiabilidad de los datos presentados y por ende reducir la incertidumbre de los mismos. Para ello se utilizó el programa Excel y ArcGis V.10

En cuanto a la modelación digital de las precipitaciones, se obtuvieron valores homogéneos para el periodo estimado (2003-2012); a través del método del coeficiente de correlación o correlación lineal.

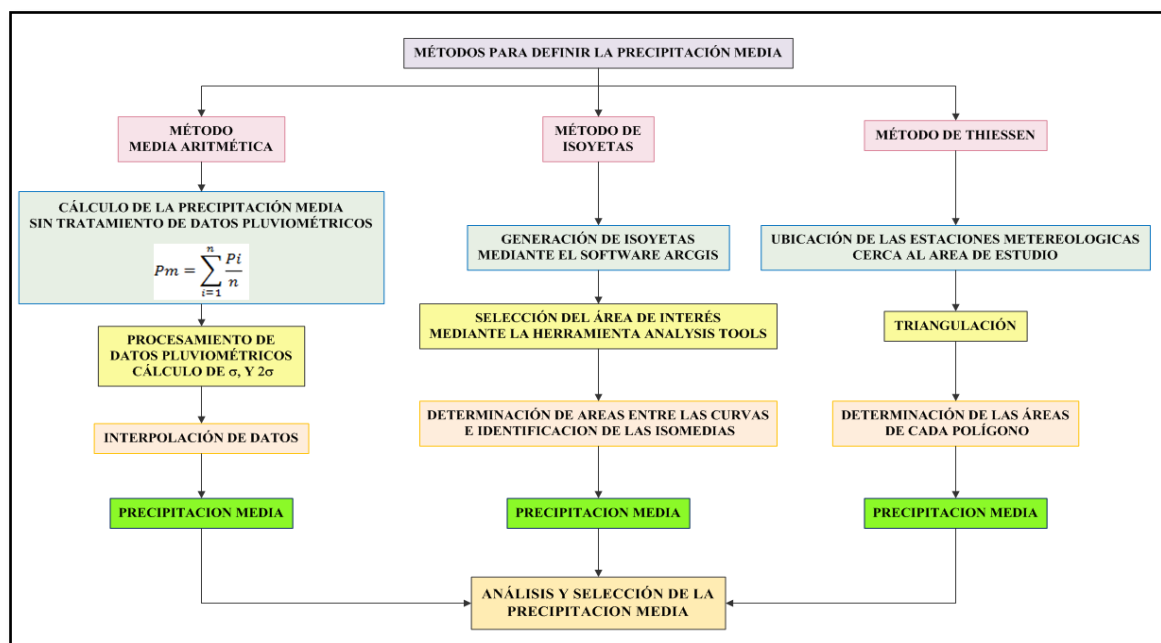
5.4.1.1. Precipitación media.

Para determinar la precipitación media en la cuenca, se seleccionaron tres de los métodos más utilizados para éste cálculo, que corresponden a:

- Método de la Media aritmética,
- Método de Isoyetas, y
- Método de Thiessen.

Posteriormente, se realizó un análisis para determinar la precipitación media más representativa para la zona de estudio. En la siguiente figura, se presenta la metodología utilizada para determinar la precipitación media de la microcuenca.

Figura 25. Metodología aplicada para determinar la precipitación media en la microcuenca en estudio



Elaborado por: Paulina Carrasco

A continuación, se presenta el cálculo de la precipitación media en la microcuenca para el proyecto de riego en la comunidad de Pisambilla.

5.4.1.1.1. Media aritmética.

Tal y como se describió en el capítulo 3, éste método de fácil aplicación y los cálculos establecidos no requieren de un desarrollo complejo para la determinación del valor deseado.

A partir del fundamento de esta metodología, se muestra el cálculo para la obtención del valor de precipitación para la microcuenca en estudio.

Una vez realizada la homogeneización de los datos de precipitación, se realiza el cálculo de las precipitaciones medias anuales para cada una de las estaciones y sus respectivos meses. En la siguiente tabla, se presentan los valores obtenidos aplicando el método de la media aritmética para obtener la precipitación media.

Tabla 23. Precipitación media (mm) de las 3 estaciones seleccionadas para el estudio

Estación	Precipitación (mm) Victoria Inheri	Precipitación (mm) Cangahua	Precipitación (mm) Cuyuja
Mes	Media	Media	Media
Enero	42,65	37,35	87,78
Febrero	50,53	66,54	102,27
Marzo	65,32	85,97	126,54
Abril	94,77	85,27	140,79
Mayo	46,48	58,99	142,17
Junio	27,4	33,34	182,23
Julio	13,11	30,84	137,30
Agosto	10,89	30,58	122,85
Septiembre	22,28	25,72	90,48
Octubre	52,59	65,62	94,55
Noviembre	56,86	76,90	109,76
Diciembre	61,23	90,11	131,14
Total	544,11	687,24	1467,87

Fuente: INAMHI

Como se observa en la tabla 23, los valores de las medias van desde los 500mm a 1000mm de precipitación.

Así, se tiene que para la estación Victoria Inheri, la precipitación media anual que corresponde a 544,11 mm; seguido de la estación Cangahua con 687,24 mm y finalmente la estación Cuyuja con una precipitación media anual de 1467,87 mm. Cuyo valor sobrepasa de las anteriores

Una vez obtenido estos valores, se procede a realizar el cálculo de la precipitación media total correspondientes a las estaciones seleccionadas para el estudio mediante la Ecuación 1. Así se tiene:

$$Pm = \frac{\sum_{i=1}^n Pi}{n}$$

Cálculo:

$$Pm = \frac{544,11 + 687,24 + 1467,87}{3}$$

$Pm = 889,74 \text{ mm}$

Uno de los problemas en el empleo de este método, consiste en que no supone eventos adversos que podría suscitarse en la zona de estudio, como condiciones climáticas y de relieve. En este caso, el proyecto al encontrarse en el páramo ecuatoriano las precipitaciones anuales son altas ($\geq 1000\text{mm}$). (Hofstede, 1997, pág. 1).

Partiendo de este dato bibliográfico, se procede al tratamiento de los datos pluviométricos con el fin de establecer un dato aproximado a las precipitaciones presentes en el área del páramo y por ende a la zona del proyecto.

- **Procesamiento de datos pluviométricos.**

Este tratamiento consistirá en realizar cálculos estadísticos como desviación estándar (σ); y para obtener mayor confiabilidad se tendrá dos veces la desviación estándar (2σ), para los doce meses que corresponden el año.

En las tablas siguientes, se presentan los valores obtenidos aplicando los cálculos estadísticos.

Tabla 24. Desviaciones estándar y 2 veces desviación estándar para la estación Victoria Inheri.

ESTACION VICTORIA INHERI		
MES	σ	2σ
ENE	28,29	99,22
FEB	20,91	92,36
MARZ	31,38	128,08
ABR	42,70	180,17
MAY	30,20	106,87
JUN	14,89	57,18
JUL	16,97	47,04
AGO	12,24	35,38
SEP	16,88	56,04
OCT	31,97	116,52
NOV	42,02	140,89
DIC	38,49	138,20
TOTAL	326,92	1197,96

Fuente: INAMHI

Tabla 25. Desviaciones estándar y 2 veces desviación estándar para la estación Cangahua

ESTACIÓN CANGAHUA		
MES	σ	2σ
ENE	25,15	87,64
FEB	48,48	163,51
MARZ	47,72	181,40
ABR	22,92	131,11
MAY	48,74	156,47
JUN	47,20	127,74
JUL	45,27	121,38
AGO	53,79	138,16
SEP	30,86	87,43
OCT	35,69	137,01
NOV	38,74	154,37
DIC	67,01	224,13
TOTAL	511,55	1710,34

Fuente: INAMHI

Tabla 26. Desviaciones estándar y 2 veces desviación estándar para la estación Cuyuja

ESTACIÓN CUYUJA		
MES	σ	2σ
ENE	47,13	182,04
FEB	32,42	167,11
MARZ	49,05	224,65
ABR	45,64	232,06
MAY	42,63	227,43
JUN	54,65	291,53
JUL	40,98	219,25
AGO	29,28	181,41
SEP	25,67	141,83
OCT	22,15	138,84
NOV	28,40	166,57
DIC	65,98	263,10
TOTAL	483,97	2435,82

Fuente: INAMHI

- **Factores de ponderación**

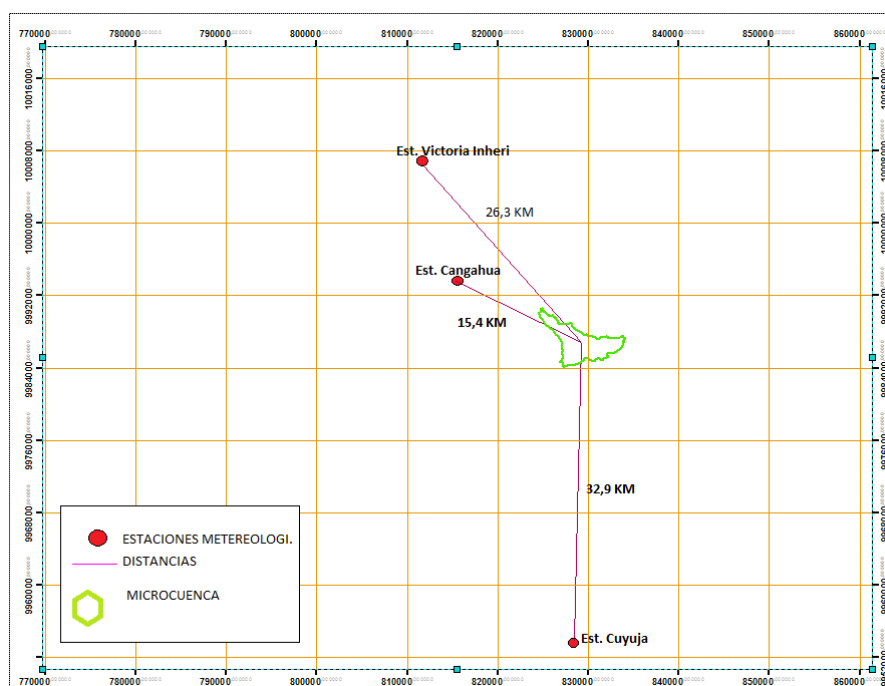
Obtenidos los valores estadísticos, se procede a realizar la interpolación de los datos meteorológicos a través de la metodología propuesta por Gandin, y Kagan, (1970). La metodología propone, la interpolación de estos datos, relacionando las distancias de las estaciones meteorológicas y la influencia que tienen sobre al área de estudio.

Se integra esta metodología con la finalidad de obtener coeficientes que determinen la relación antes mencionada, y para obtener valores ponderados que nos den un valor aproximado a la precipitación media anual de la zona de estudio, ubicada en el páramo de Cayambe.

Para obtener las distancias de las estaciones al área de estudio y sus respectivos coeficientes, se utilizó el programa ArcGis V.10.

Se presenta la siguiente figura con las estaciones meteorológicas seleccionadas y las distancias respectivas al punto céntrico de la microcuenca en estudio.

Figura 26: Distancias en Km de las estaciones meteorológicas al área de estudio



Elaborado por: Paulina Carrasco

Una vez conocidas las distancias, se determinan los factores que ayudarán a realizar la ponderación de las precipitaciones medias para cada mes y para determinar la precipitación media anual, sumados estos factores serán igual a la unidad.

Así, se obtiene que para las estaciones los factores de ponderación son los siguientes:

Tabla 27. Factores de ponderación para cada estación meteorológica

Estación	Factor de Ponderación
Victoria Inheri	0,35
Cangahua	0,21
Cuyuja	0,44

Elaborado por: Paulina Carrasco

Estos factores son multiplicados por las 2 veces desviación estándar pues expresa una mayor confiabilidad en los valores obtenidos.

Tabla 28. Valores de precipitación ponderados para las estaciones meteorológicas seleccionadas.

precipitaciones.

VICTORIA INERI			
MES	2s	Factor	Precipitación (2s*0,35)
ENE	99,2222547	0,35	34,73
FEB	92,3571629		32,33
MARZ	128,077013		44,83
ABR	180,171538		63,06
MAY	106,87351		37,41
JUN	57,184709		20,01
JUL	47,0424099		16,46
AGO	35,3773573		12,38
SEP	56,0396472		19,61
OCT	116,520271		40,78
NOV	140,891116		49,31
DIC	138,202725		48,37
CANGAHUA			
MES	2S	Factor	Precipitación (2s*0,21)
ENE	87,6433439	0,21	18,41
FEB	163,505745		34,34
MARZ	181,399843		38,09
ABR	131,105952		27,53
MAY	156,468443		32,86
JUN	127,739163		26,83
JUL	121,378384		25,49
AGO	138,161514		29,01
SEP	87,4295714		18,36
OCT	137,00792		28,77
NOV	154,374583		32,42
DIC	224,128061		47,07
CUYUJA			
MES	2S	Factor	Precipitación (2s*0,44)
ENE	182,041247	0,44	80,10
FEB	167,113531		73,53
MARZ	224,646212		98,84
ABR	232,061116		102,11
MAY	227,427189		100,07
JUN	291,528205		128,27
JUL	219,247206		96,47
AGO	181,414286		79,82
SEP	141,830737		62,41
OCT	138,840643		61,09
NOV	166,571346		73,29
DIC	263,099685		115,76

Elaborado por: Paulina Carrasco

Los valores ponderados obtenidos para cada mes de cada estación, son sumados simultáneamente; es decir, cada enero de las estaciones Victoria Inheri, Cangahua y Cuyuja, son sumadas para obtener el valor total para el mes en mención, y así con todos los meses. La tabla 29, muestra los valores que se obtuvieron utilizando este método, disminuyendo los errores que pueden presentarse en las mediciones de la precipitación.

Tabla 29. Valores de precipitación (mm) para cada mes por el método de la media aritmética y métodos estadísticos

PRECIPITACIONES PONDERADAS (mm)	
ENE	133,23
FEB	140,19
MARZ	181,77
ABR	192,70
MAY	170,33
JUN	175,11
JUL	138,42
AGO	121,22
SEP	100,38
OCT	130,64
NOV	155,02
DIC	211,20
TOTAL	1850,22

Elaborado por: Paulina Carrasco

La aplicación de la metodología de la media aritmética, se hace más consistente una vez que los valores de precipitación presentados para el cálculo reciben un tratamiento adecuado, entre ellos descartar errores en las mediciones, el hecho de integrar métodos estadísticos confiables ayuda a reducir la incertidumbre, y a obtener un valor de precipitación más cercano a la realidad.

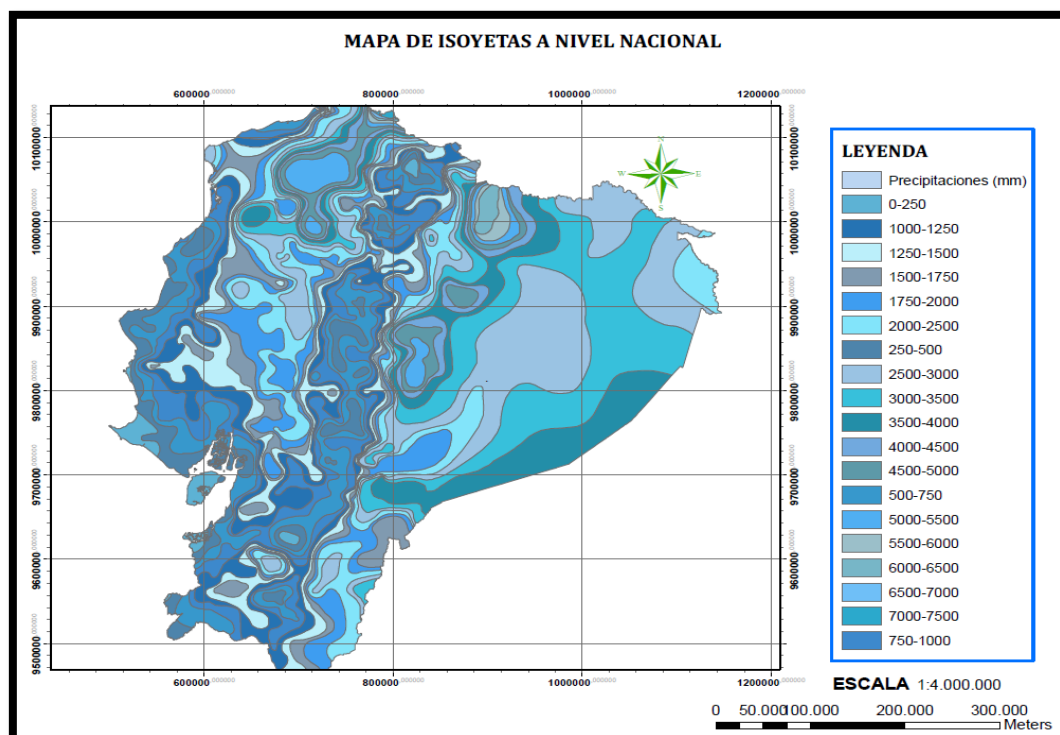
5.4.1.1.2. Método Isoyetas.

El método de las Isoyetas, es presentado por ser parte de uno de los métodos más usados para determinar la precipitación media en un área de interés. Es por esta razón que se determina ésta precipitación para la microcuenca del proyecto de riego en la comunidad de Pisambilla

La metodología consiste en el trazado de isolíneas de igual precipitación que es el resultado de las láminas de datos pluviométricos registrados. En este caso, las Isoyetas se obtuvieron a través del INHAMI, quienes cuentan con los shapefile ya establecidos y que son generados a partir de los registros pluviométricos de las estaciones meteorológicas totales ubicadas en todo el territorio ecuatoriano; lo que permite tener mayor precisión en los datos generados para el trazado de las Isoyetas.

Es así que a través del shapefile, se generaron las Isoyetas a nivel nacional con el fin de identificar las zonas con mayor precipitación, el cual se presenta en la figura 27:

Figura 27. Valores de Isoyetas a escala nacional



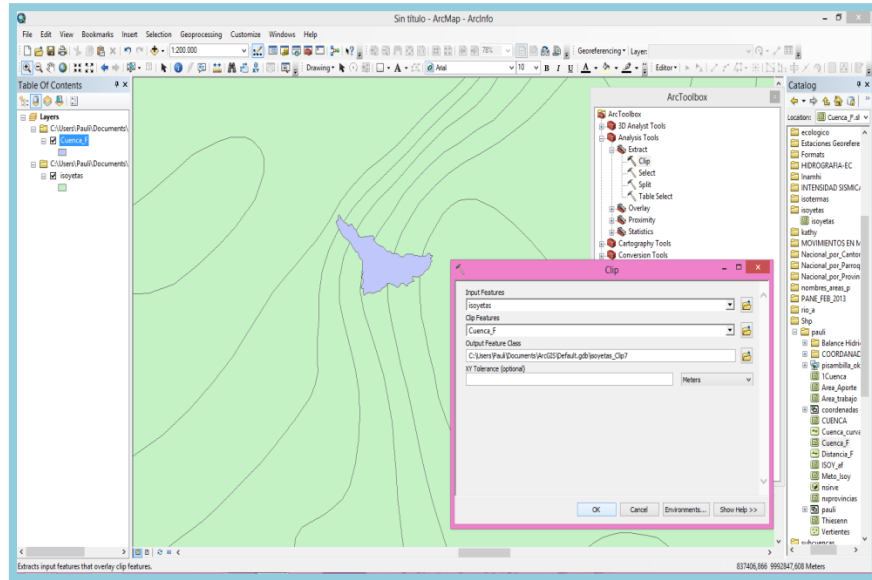
Fuente: INAMHI

Debido a que ya se cuenta con las isoyetas generadas, la metodología que se emplea, se basa en la herramienta clip del software ArcGis, cuyo procedimiento se presenta a continuación:

- Se carga en ArcMap, los shapefiles de la Isoyetas a nivel nacional, conjuntamente con la microcuenca generada para el estudio del proyecto de riego (Figura 28).

- Mediante la herramienta Analysis Tools se recorta el área de interés obteniendo las Isoyetas para la microcuenca.

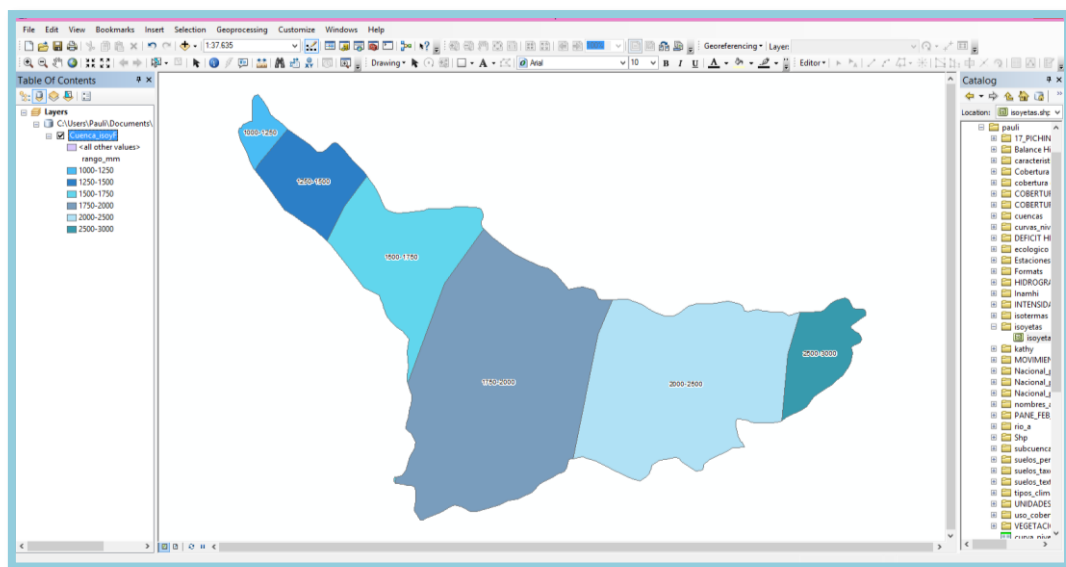
Figura 28. Superposición de la microcuenca en estudio a las Isoyetas a nivel nacional



Elaboración: Paulina Carrasco

- Una vez utilizada la herramienta, el área de interés es recortada a fin de generar las isoyetas en la microcuenca; obteniendo así el rango de las precipitaciones presentes en la misma zona de estudio.

Figura 29. Generación de Isoyetas en el área de estudio



Elaborado por: Paulina Carrasco

- **Determinación de la precipitación media con el método de Isoyetas**

La determinación de la precipitación media con el método de las Isoyetas, se aplica con la Ecuación 1, la cual indica que la precipitación media es igual a la sumatoria de la precipitación promedio entre dos curvas multiplicada por el área de las mismas, y divididas para el área total de la microcuenca.

Para la determinación de la precipitación media en la microcuenca, se identificó 6 áreas con precipitaciones que tienen un rango de 1000 a 3000 mm al año.

A continuación, se muestran los cálculos efectuados para definir la precipitación media por el método de Isoyetas:

Tabla 30. Cálculo de la precipitación media (mm) por el método de las Isoyetas

Método de Isoyetas				
N° Área	Área (m2)	Rango Isoyetas	Isomedia (mm)	Área * Isomedia
A1	403425,9367	1000-1250	1125	453854178,7
A2	1550191,805	1250-1500	1375	2131513731
A3	3086092,907	1500-1750	1625	5014900974
A4	9226465,822	1750-2000	1875	17299623417

Continúa...

Tabla 30. Cálculo de la precipitación media (mm) por el método de las Isoyetas (Continuación...).

A5	6782618,073	2000-2500	2250	15260890664
A6	1317879,328	2500-3000	2750	3624168151
Total	22366673,87			43784951116

Elaborado por: Paulina Carrasco

La tabla 30, presenta el resultado de las sumatoria del área total de la microcuenca y de las precipitaciones, multiplicadas por cada una de las áreas resultantes a través de este método.

Con estos antecedentes, se realiza el cálculo para conocer la precipitación media en la microcuenca en estudio utilizando la ecuación 1.

Cálculo:

$$Pm = \frac{43784951116}{22366673,87}$$

$Pm = 1957,5 \text{ mm}$

A través del método de la Isoyetas, la precipitación media de la microcuenca es de 1957,5 mm al año.

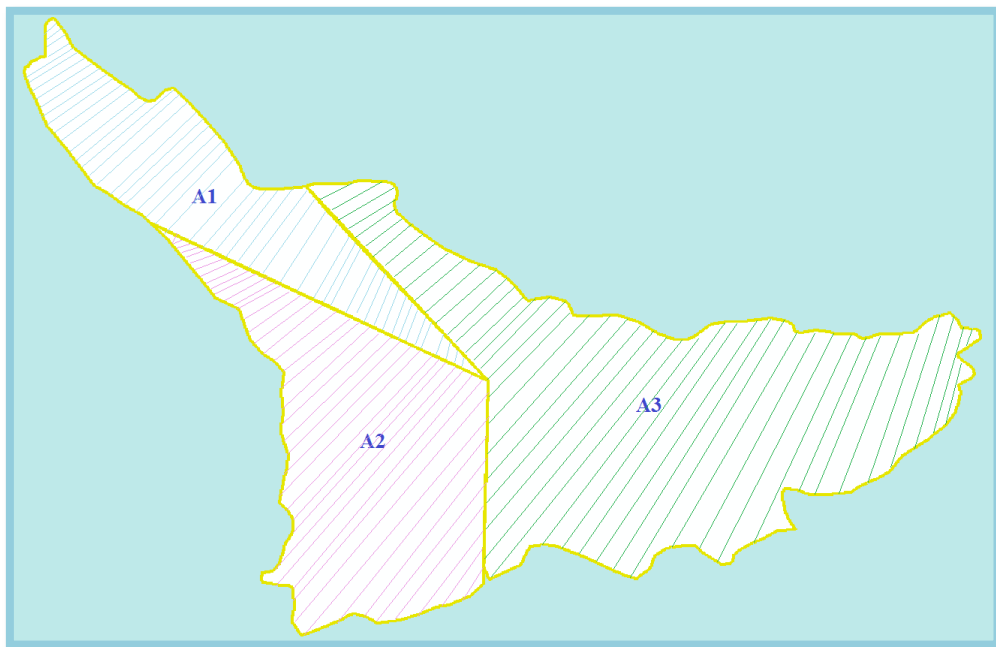
5.4.1.1.3. Método de Thiessen.

Este método como se explicó anteriormente, es de fácil aplicación; puesto que, para determinar la precipitación media, requiere al menos de 3 estaciones con el fin de realizar la triangulación; para el caso en estudio se realiza la triangulación mediante el

programa ArcGis, el cual facilitó el desarrollo del método, así como también se usó el software excel para la parte de cálculos. Así:

- Se ubican las estaciones meteorológicas cercanas al estudio, y son dirigidas al punto medio de la microcuenca, a fin de generar polígonos que definan un área determinada.
- En la siguiente figura, se representan las áreas que fueron formadas a partir de la triangulación de Thiessen.

Figura 30. Generación de áreas a partir del método de Thiessen.



Elaborado por: Paulina Carrasco

- Las áreas fueron determinadas a partir de cada estación meteorológica, de esta manera el área 1 (A1), corresponde a la estación Victoria Inheri; el área 2 (A2) a la estación Cangahua; y el área 3 (A3) a la estación Cuyuja.

Una vez establecidas las áreas, se multiplica por las precipitaciones medias de cada mes y se las divide por el área total, sumando posteriormente los resultados de cada uno de los meses; dando finalmente una precipitación media ponderada. Así se tiene los cálculos y resultados obtenidos a partir de esta metodología.

Tabla 31. Precipitación media (mm) por el método de Thiessen

VICTOA INHERI				Pm	
MES	PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)	ÁREA POLÍGONO (m2)	Pm*A/At	1233,28	
ENERO	42,65	4258101,00	8,13		
FEBRERO	50,53		9,63		
MARZO	65,32		12,45		
ABRIL	94,77		18,07		
MAYO	46,48		8,86		
JUNIO	27,40		5,22		
JULIO	13,11		2,50		
AGOSTO	10,89		2,08		
SEPTIEMBRE	22,28		4,25		
OCTUBRE	52,59		10,03		
NOVIEMBRE	56,86		10,84		
DICIEMBRE	61,23		11,67		
Total			103,73		
CANGAHUA					
MES	PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)	ÁREA POLÍGONO (m2)	Pm*A/At		
ENERO	37,35	6547707,00	10,95		
FEBRERO	65,70		19,26		
MARZO	83,37		24,44		
ABRIL	90,74		26,60		
MAYO	181,74		53,28		
JUNIO	35,27		10,34		
JULIO	28,02		8,21		
AGOSTO	133,09		39,01		
SEPTIEMBRE	102,35		30,00		
OCTUBRE	150,96		44,25		
NOVIEMBRE	163,84		48,03		
DICIEMBRE	190,85		55,95		
Total			370,33		
CUYUJA					
MES	PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)	ÁREA POLÍGONO (m2)	Pm*A/At		
ENERO	88,42	11529989,00	45,65		
FEBRERO	105,54		54,48		
MARZO	129,35		66,77		
ABRIL	139,89		72,21		

Continúa...

Tabla 31. Precipitación media (mm) por el método de Thiessen (Continuación...).

MAYO	142,94		73,79	
JUNIO	181,80		93,85	
JULIO	137,51		70,99	
AGOSTO	123,10		63,55	
SEPTIEMBRE	90,35		46,64	
OCTUBRE	96,42		49,77	
NOVIEMBRE	106,95		55,21	
DICIEMBRE	128,48		66,32	
Total			759,22	

Elaborado por: Paulina Carrasco

La precipitación media obtenida a través del método de Thiessen, da como resultado:

$$Pm = 1233,28 \text{ mm/año}$$

5.4.1.2. Análisis de la precipitación media.

Saber el valor de la precipitación media en una microcuenca hidrográfica, es el punto más importante dentro de cualquier estudio, puesto que representa la entrada principal del recurso hídrico.

En los ítems anteriores, se plantearon las tres metodologías más utilizadas para la determinación de la precipitación media en una cuenca, como el método de la media aritmética, método de las Isoyetas y el método de Thiessen. Dando como resultado las siguientes precipitaciones medias:

Tabla 32. Resultado de los valores de precipitación media (mm), determinados a través de los métodos, media aritmética, Isoyetas, y Thiessen

PRECIPITACIÓN MEDIA	
MÉTODO	RESULTADO
Media Aritmética	1850,22
Isoyetas	1957,60
Thiessen	1233,28

Elaborado por: Paulina Carrasco

Cada uno de estos métodos presentan ventajas y desventajas en su aplicación; puesto que, no consideran varios aspectos de morfología de la cuenca, sus valores siempre tendrán incertidumbre.

Sin embargo, se selecciona el método de la media aritmética; debido a que, los valores de precipitación, recibieron un tratamiento más elaborado, pues se trabajó con correlaciones y desviación estándar. Adicionalmente, se determinaron factores para ponderar las precipitaciones a partir de las distancias e influencia de las estaciones meteorológicas a la microcuenca.

Obteniendo así, una precipitación media con mayor precisión y que se ajusta a los valores promedios de precipitaciones presentes en el páramo.

5.4.2 Evapotranspiración.

La evapotranspiración es fundamental para el cálculo del balance hídrico en la microcuenca estudiada, y de suma importancia para la determinación del caudal ecológico, ya que permite considerar la cantidad de agua de salida que tiene la vegetación presente en el páramo.

Cabe señalar, que el cálculo de la evapotranspiración es complejo, pues requiere muchos factores que determinen un valor exacto; sin embargo, el cálculo puede realizarse a partir de datos meteorológicos siempre y cuando se tengan los registros suficientes para realizar su determinación.

De acuerdo con la FAO, 2006; el método de Penman-Monteith es el recomendado para la determinación de la evapotranspiración a partir de datos climáticos como temperatura, humedad atmosférica, velocidad de viento, y radiación.

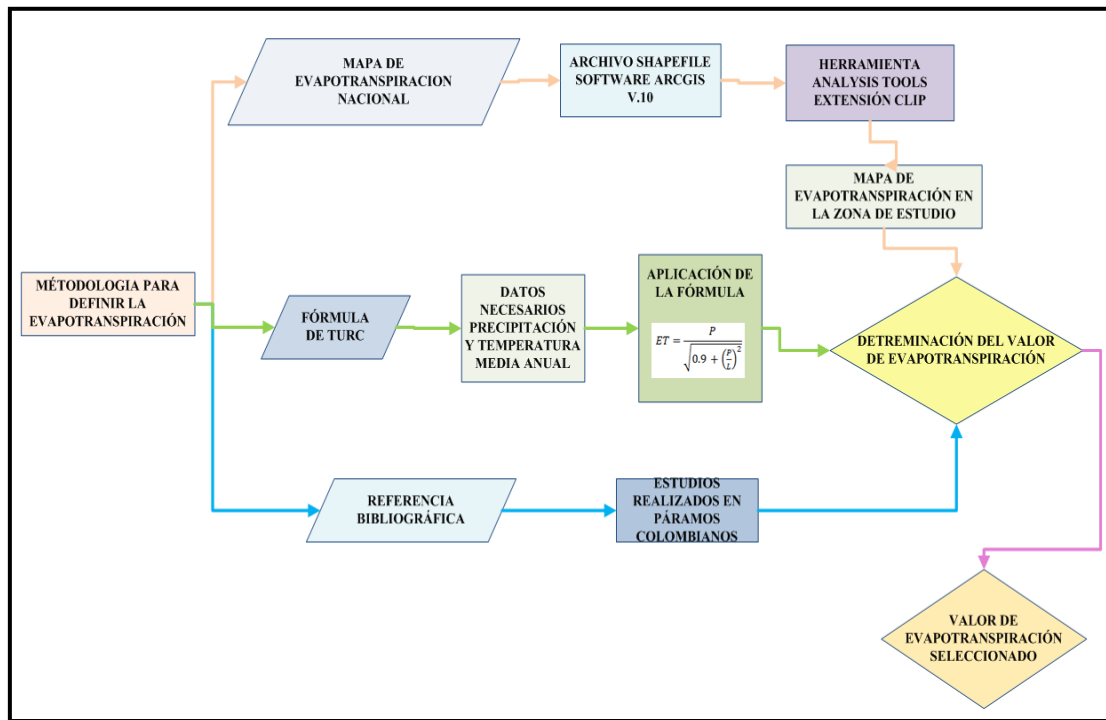
Sin embargo, en el Ecuador y específicamente en los páramos ecuatorianos, no existen estaciones meteorológicas que proporcionen estos datos requeridos, y determinen un valor exacto de evapotranspiración.

Por tal razón, para el cálculo de la evapotranspiración se comparó tres valores para elegir el valor de evapotranspiración más idóneo y que se ajuste a la zona de estudio. Estos valores se definieron a partir de:

- 1: Mapa de evapotranspiración a nivel nacional proporcionado por el INEC.
- 2: Cálculo de la evapotranspiración a partir de la fórmula de Turc.
- 3: Estudios realizados en los páramos colombianos.

La metodología general para la determinación de la evapotranspiración se muestra a continuación:

Figura 31. Metodología aplicada para la determinación de la evapotranspiración en el área de estudio



Elaborado por: Paulina Carrasco

5.4.2.1. Mapa de evapotranspiración a nivel nacional.

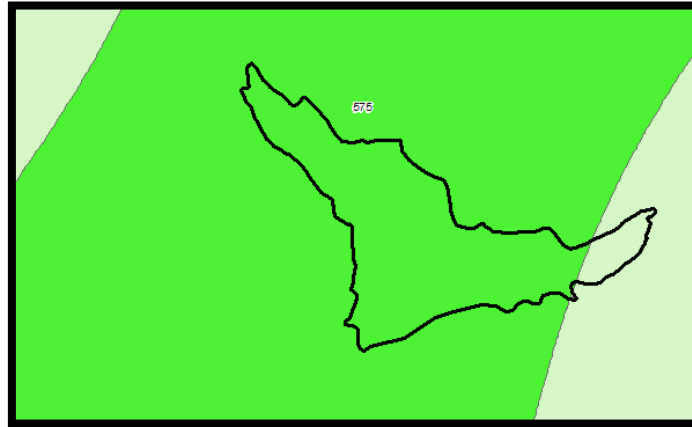
Este mapa fue proporcionado por el INEC, donde se registra las evapotranspiraciones anuales presentadas a nivel nacional. El archivo es de tipo shapefile.

El procedimiento se realizó a través del programa ArcGis de la siguiente manera:

- En primera instancia se carga el mapa al software ArcGis

- Se procede a ubicar a la microcuenca, para posteriormente realizar el recorte mediante la herramienta clip
- Consecutivamente se verifica el valor de la evapotranspiración para el área de estudio como muestra la siguiente figura.

Figura 32. Evapotranspiración anual en el área de estudio



Elaborado por: Paulina Carrasco

La evapotranspiración de acuerdo con el mapa, dió como resultado una evapotranspiración media de 575 mm/año. Éste valor equivale a 1,5 mm/día.

5.4.2.2. Evapotranspiración de acuerdo a Turc.

Mediante la ecuación de Turc, se determina la evapotranspiración de la siguiente manera:

$$ET = \frac{P}{0.9 + \frac{P}{L}^2}$$

Previo a la determinación de la evapotranspiración, se desarrolla la ecuación para el cálculo de Helio térmico (L):

$$\diamond L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

Para la parte del cálculo, se necesita conocer la temperatura media anual en la zona de estudio. Es así que se tiene una temperatura media de 7°C.

$$\diamond L = 300 + 25 (7) + 0.05(7)^3$$

$$\diamond L = 492$$

Una vez obtenido L, se procede al cálculo de la evapotranspiración, utilizando la precipitación media anual obtenida a través del método de la media aritmética, cuya precipitación es de 1850 mm/año.

$$ET = \frac{1850}{0.9 + \frac{1850^2}{492}}$$

$$ET = 477 \frac{mm}{año} \times \frac{1 año}{365 días}$$

$$ET = 1,3 \frac{mm}{días}$$

5.4.2.3. Evapotranspiración a través de investigaciones bibliográficas.

De acuerdo a estudios realizados por Hofstede, 1995; en páramos colombianos, la evapotranspiración cuantificada para éste ecosistema se encuentra en un rango de 1 mm a 1.5 mm día. (Buytaert, et. Al, 2006, pág. 59) (EcoCiencia, 2006, pág. 32).

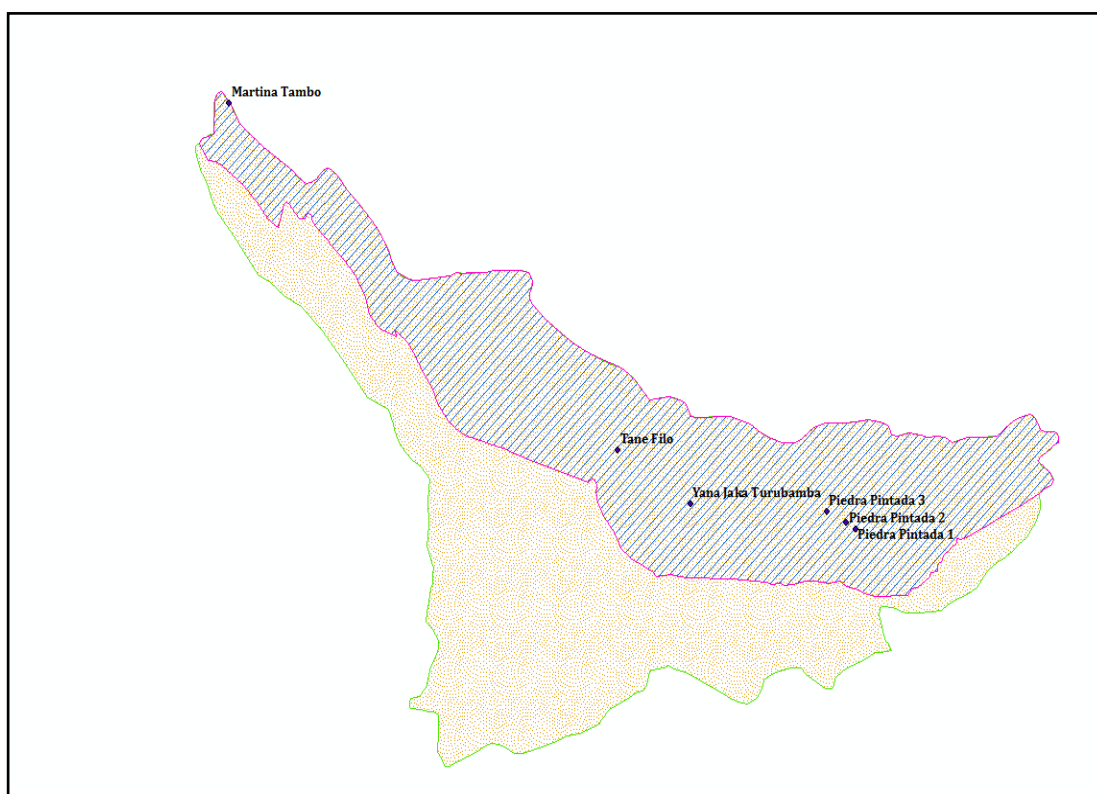
- **Análisis de la evapotranspiración**

A partir de los tres métodos utilizados para definir la evapotranspiración, en dos de ellos (mapa de evapotranspiración nacional y referencias bibliográficas) se encontraron valores idénticos correspondientes a 1.5 mm día, por ésta razón éste valor es considerado para los cálculos posteriores donde se determinará el caudal ecológico.

5.4.3. Aportación hídrica en la microcuenca.

La aportación hídrica para la microcuenca en estudio; corresponde al área donde se origina las vertientes (captación de agua para riego), hasta el punto donde finaliza el sistema de riego (agua utilizada para los cultivos).

Figura 33. Área de aportación hídrica a la microcuenca



Elaborado por: Paulina Carrasco

En la figura 33, el área que se encuentra rayada corresponde aquella que tiene la aportación hídrica de la microcuenca. La superficie tiene 11218700 m².

Para conocer la aportación hídrica a la microcuenca, se procede a multiplicar las precipitaciones calculadas por el área total de aportación, tal como se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 32. Aportación hídrica mensual a la microcuenca

APORTACIÓN HÍDRICA A LA CUENCA (precipitación *área) mm			
MESES	PRECIPITACION PONDERADA (mm)	AREA (m2)	APORTACION (L)
ENE	133,23	11218700	1494679066,80
FEB	140,19		1572762647,48
MARZ	181,77		2039169866,64
ABR	192,70		2161834281,85
MAY	170,33		1910904332,26
JUN	175,11		1964532166,33
JUL	138,42		1552926947,57
AGO	121,22		1359911503,47
SEP	100,38		1126128741,72
OCT	130,64		1465651816,85
NOV	155,02		1739144695,35
DIC	211,20		2369408602,15
TOTAL			20757054668,48

Elaborado por: Paulina Carrasco

El área de aportación hídrica en la microcuenca es de 20757054668,48 l/año; este valor es transformado a l/s mediante la siguiente conversión:

$$20757054668,48 \frac{l}{año} \times \frac{1 año}{365 días} \times \frac{1 día}{86400 s} = 658,201886 l/s$$

5.4.4. Requerimiento hídrico de la vegetación (Qe).

La evotranspiración, es un proceso que combina la evapotranspiración y la evaporación de las plantas, y se traduce como el requerimiento hídrico de la vegetación o el caudal necesario para mantener las condiciones iniciales de las plantas en el mismo estado; es decir, el caudal ecológico.(Sánchez R. , 2013).

En este caso, el valor de la evapotranspiración definido es de $1,5 \text{ mm.día}^{-1}$; por las razones anteriormente descritas.

En el caso de la evaporación, la complejidad de comparar valores fue uno de los factores limitantes para definir la evaporación, debido a que en la zona estudiada no se encuentran estaciones que permitan establecer lecturas directas para el estudio; sin embargo, las investigaciones realizadas en el páramo colombiano por Hofstede (1995), determinaron un valor de $1,45 \text{ mm día}^{-1}$ de evaporación.

Es así que, se considera los valores representativos y similares en los páramos ecuatorianos, ya que estos ecosistemas tienen características similares a los páramos presentes en América del Sur.

La evapotranspiración y la evaporación y los valores presentes, toman importancia puesto que, permite saber la cantidad de agua que consume la vegetación del páramo, es decir el requerimiento hídrico ó caudal ecológico (Q_e).

Requerimiento Hídrico (Q_e) = Evapotranspiración + Evaporación

Requerimiento Hídrico (Q_e) = $1,5 \text{ mm día}^{-1} + 1,4 \text{ mm día}^{-1}$

Requerimiento Hídrico (Q_e) = $2,9 \text{ mm día}^{-1}$

Requerimiento Hídrico (Q_e) = 32534230 L/ día

Requerimiento Hídrico (Q_e) = **$376,553588 \text{ L/ s}$**

5.5. Balance hídrico general

A continuación se realiza el cálculo del balance hídrico general de la microcuenca, que permitirá saber el valor de caudal aprovechable, en el cual integran valores de la aportación hídrica en la microcuenca y el requerimiento de la vegetación o caudal ecológico. Así:

Caudal Aprovechable = Entradas - Salidas

= Aportación a la cuenca - Requerimiento de la Vegetación (Q_e)

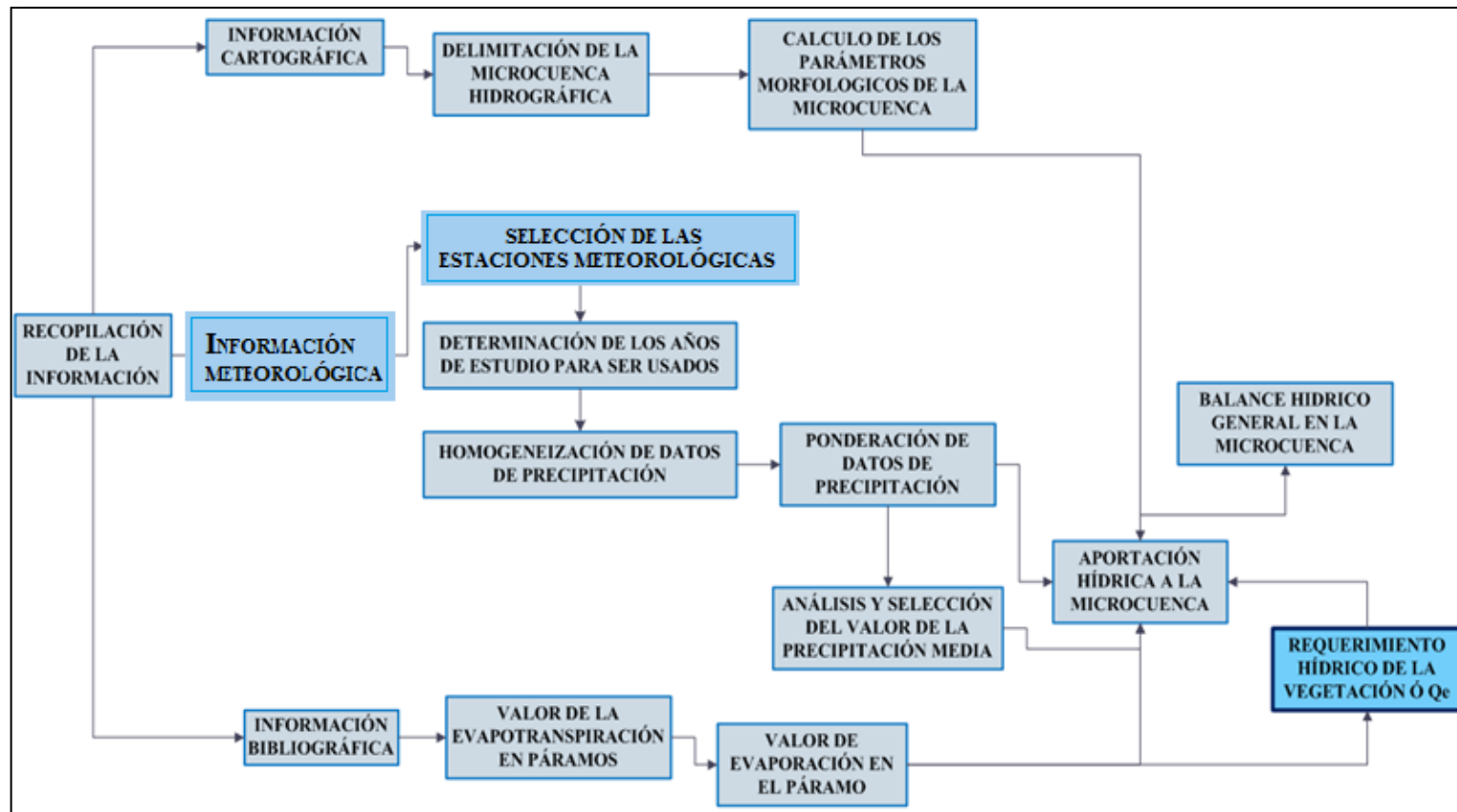
= $658,201886 \text{ l/s} - 376,553588 \text{ L/ s}$

= **$281,64 \text{ L/s}$** .

Nota: el caudal concesionado para la comunidad de Pisambilla es de $460,22 \text{ l/s}$

Se resume la metodología general utilizada para determinar el caudal ecológico en el área de estudio.

Figura 34: Metodología general utilizada para determinar el Q_e en la zona de estudio.



Elaborado por: Paulina Carrasco

CONCLUSIONES

1. La información física, biótica y social obtenida, permitió desarrollar un concepto más amplio para la determinación del caudal ecológico en la microcuenca estudiada, debido a que se conoció los tres factores más importantes que influenciaban en la determinación del Qe.
2. Mediante la investigación realizada en el presente estudio para la determinación de caudales ecológicos, se encontró el fundamento sistemático base para generar una metodología que ayude a definir el Qe en el área del proyecto de riego de la comunidad de Pisambilla.
3. La metodología general propuesta para definir el Qe en la microcuenca hidrográfica, fue adaptada a factores meteorológicos, ecosistémicos, características endémicas, ambientales, y climáticas de la zona páramo de Pisambilla, con el fin de obtener una aproximación del resultado del caudal ecológico, minimizando las imprecisiones en el valor final.
4. Se determinó un caudal ecológico de 376,55 L/ s mediante la metodología aplicada para el caso de la zona de estudio.

RECOMENDACIONES

Es importante realizar más estudios en el páramo ecuatoriano, específicamente en los requerimientos hídricos de la vegetación propia, pues se considera un ecosistema frágil y se encuentra sometido a diferentes cambios constantemente.

Uno de los mayores retos en el estudio para la determinación del caudal ecológico, es el de no contar con datos hidrométricos y meteorológicos, por la escasez de mediciones y por la falta de estaciones meteorológicas ubicadas en el área de estudio, es por esta razón que se recomienda la implementación de más estaciones, que permitan arrojar valores muy cercanos a la realidad.

Una metodología específica para la determinación del caudal ecológico sería de gran utilidad para realizar estudios posteriores en zonas similares; siempre y cuando se considere las características propias de cada ecosistema presente en el territorio nacional.

La metodología general propuesta en ésta parte del estudio, resultó de gran utilidad al definir el Q_e en la zona de estudio, por tal razón las investigaciones posteriores en base a la metodología propuesta sería de gran utilidad para mejorarla y validarla.

En cuanto a la concesión para la comunidad de Pisambilla determinada por SENAGUA, se recomienda realizar un nuevo estudio considerando el requerimiento hídrico (Q_e) de la vegetación, y a partir de éste minimizar el caudal concesionado, debido a que el caudal del requerimiento hídrico es mayor a éste último.

LISTA DE REFERENCIAS

- Alcázar, J. (2007). (*Tesis Doctoral*); *El método del caudal básico para la determinación de caudales de mantenimiento aplicación a la cuenca del Ebro*. Lleida: Universidad de Lleida, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria; Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo.
- Allen, R., Luis, P., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. 56. Roma.
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: LIMUSA, S.A de C.V.
- APROMA. (2000). Primer congreso sobre caudales ecológicos. Ponencias y conclusiones. Barcelona, España.
- Ayala, F., & Vadillo, L. (2004). <http://books.google.com.ec>. Recuperado el 9 de febrero de 2014, de Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería: <http://books.google.com.ec/books?id=3lKLATKN3MYC&pg=PA347&lpg=PA347&dq=dv/dt+ES+balance+hídrico&source=bl&ots>
- Benetti, A., Lanna, E., & Cobalchini, M. (2003). Metodologías para determinação de vazões . *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 149-160.
- Brow, C., & King, J. (2003). *Environmental flows: Concepts and methods*. Washington: The Word Express, Inc.
- Buytaert, W., Céleri, R., Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (24 de Julio de 2006). www.elsevier.com. Recuperado el 5 de marzo de 2014, de Human impact on the hydrology of the andean páramos: doi:10.1016/j.earscirev.2006.06.002
- Buytaert, W., Wyseure, G., Bievre, B., & Deckers, J. (1 de agosto de 2005). www.interscience.wiley.com. Recuperado el 14 de marzo de 2014, de The effect of land-use changes on the hydrological: DOI: 10.1002/hyp.5867
- Campos, D. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis de Potosi, México: Universitaria Potosina.
- Castro, L., Carvajal, Y., & Monsalve, E. (julio-diciembre de 2006). <http://www.redalyc.org>. Recuperado el 26 de abril de 2014, de Enfoque teóricos para definir el caudal ambiental: <http://www.redalyc.org/pdf/477/47710203.pdf>
- Celleri, R. (2010). Estado del conocimiento técnico-científico sobre los servicios ambientales hidrológicos generados en los andes. En C. p. Andina, *Servicios ambientales hidrológicos en la region andina* (págs. 26-27). Lima: Instituto de Estudios Peruanos.
- Chereque, W. (1989). *Hidrología : para estudiantes de ingeniería civil*. Lima: CIP.
- CONDESAN. (2010). *Servicios ambientales hidrológicos en la región andina*. Lima: Instituto de Estudios Peruanos.
- Cordori, R., Valdivia, J., & Paredes, E. (4 de marzo de 2013). *Evaporación y evapotranspiración. Climatología*. Recuperado el 15 de enero de 2014, de es.slideshare.net: <http://es.slideshare.net/reneecapaza/evaporacion-y-evapotranspiracion-climatologia>
- Díez, J., & Olmeda, S. (2008). Diseño eco hidrológico de pequeñas centrales hidroeléctricas. *Red de revistas científicas de América latina, el Caribe, España y Portugal*, 65-76.
- Dyson, M., Bergkamp, G., & Scanlon, J. (2003). *Caudal. Elementos esenciales de los caudales*. Costa Rica: UICN-ORMA.

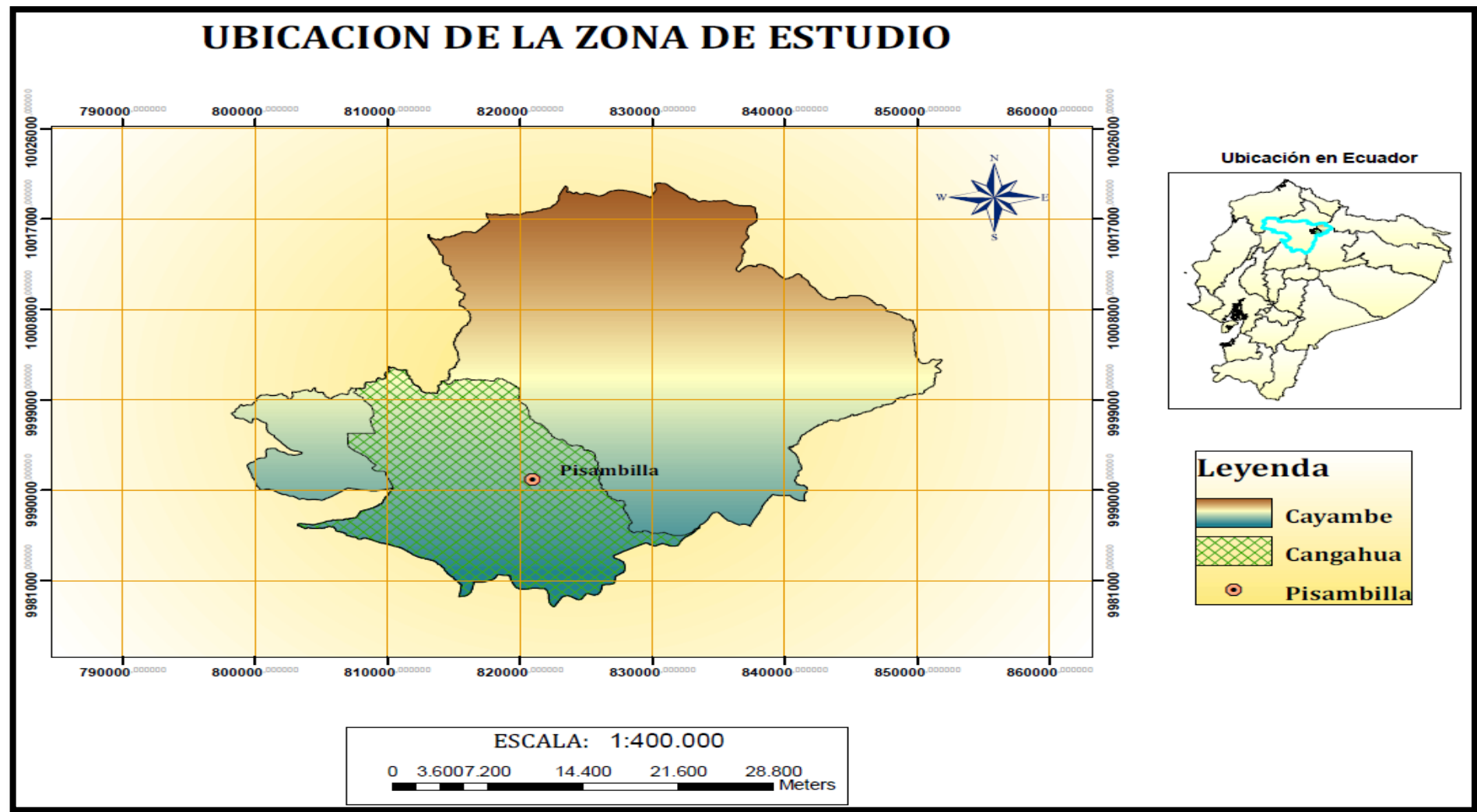
- EcoCiencia. (2006). Hidrología del páramo: Importancia, propiedades y vulnerabilidad. En P. Mena, & D. Ortiz, *Investigaciones biofísicas en el Páramo* (págs. 29-52). Quito: Abya Yala.
- Endesa-Chile. (Marzo de 2011). Introducción al cálculo de caudales ecológico. Santiago, Chile: World Color.
- Estrela, T. (1992). *Modelos matemáticos para la evaluación de recursos hídricos*. Madrid: DIN IMPRESORES, S.L.
- FAO. (2006). <http://www.fao.org>. (P. Ceci, & A. Perlis, Edits.) Recuperado el 15 de febrero de 2014, de ¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas?: <http://www.fao.org/docrep/012/a1295s/a1295s00.pdf>
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (Marzo de 2011). *Diseño hidrológico*. Obtenido de <http://www.ina.gov.ar/>: http://www.ina.gov.ar/pdf/Libro_diseno_hidrologico_edicion_digital.pdf
- Franquet, J. (2009). *El caudal mínimo medioambiental del tramo inferior del río Ebro*. España: Cooperativa Gráfica Dertosense.
- Fundación Antisana. (1998). *Plan de Manejo de la reserva ecológica Cayambe-Coca*. Quito: s/n.
- Gobierno de Pichincha. (Septiembre de 2012). <http://www.pichincha.gob.ec>. Recuperado el 22 de abril de 2014, de Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Cangahua 2025: http://www.pichincha.gob.ec/phocadownload/leytransparencia/literal_k/ppot/cayambe/ppdot_cangahua.pdf
- Gordon, N., McMahon, T., Finlayson, B., Gippel, C., & Rorly, N. (1992). *Stream hydrology an introduction for ecologists*. Great Britain: John Wiley & Sons Inc.
- Hofstede, R. (30 de agosto de 1997). <http://www.infoandina.org>. Obtenido de La importancia hídrica del páramo y aspectos de su manejo: http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/La_Importancia_H_drica_del_P_amo_y_Aspectos_de_su_Manejo.pdf
- Instituto Nacional de Ecología. (Julio de 2004). <http://www.inecc.gob.mx>. Recuperado el 9 de enero de 2014, de Análisis morfométrico de cuenca: Caso de estudio del parque nacional pico de tancitaro: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf
- Jamett, G., & Rodrigues, A. (2005). Evaluación del instrumento caudal ecológico, panorama legal e institucional en Chile y Brasil. *Revista de gestión de agua para América latina*, 83-96.
- Kelsen, H. (1982). *Teoría Pura del Derecho*. Recuperado el 24 de abril de 2014, de Biblioteca jurídica virtual: <http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/libro.htm?l=1039>
- King, J., Brown, C., & Sabet, H. (22 de Septiembre de 2003). www.interscience.wiley.com. Recuperado el 10 de marzo de 2014, de A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers: DOI: 10.1002/rra.709
- King, J., Tharme, R., & Villiers, M. (2008). *Environmental flow assessments manual for the building block methodology*. South Africa: CL MALAN.
- Londoño, C. (2001). <http://www.ut.edu.co>. Recuperado el 21 de Marzo de 2014, de Cuencas Hidrográficas: Bases Conceptuales- Caracterización- Planificación- Administración: http://www.ut.edu.co/academico/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/LIBROS/cuencas%20hidrograficas%20bases%20conceptuales%20%20caracteriza

cion%20%20planificacion%20yorganizacion%20-
%20CARLOS%20LONDOO.pdf

- Lozano, G., Gómez, J., Triviño, H., Rodríguez, C., Monsalve, E., & García, P. (2011). *Estimación de caudales ecológicos mediante métodos hidrológicos e hidráulicos en la UMC río Quindío*. Informe Investigativo, Universidad de Quindío, Armenia.
- Martínez de Azagra, A., Pando, V., Del Rio, J., & Navarro, J. (2006). Aproximación al concimiento de la infiltración a través del análisis dimensional. *Ecología*, 471-491.
- Mayo, M. (2000). *Determinación de regímenes de caudal ecoógico mínimo: Adaptación del metodo IFIM- PHABSIM y aplicación a los ríos españoles*. Universidad de Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Departamento de Ingeniería Forestal . Madrid: s/n.
- Mena, P., Castillo, A., Flores, S., Hofstede, R., Josse, C., Lasso, S., . . . Ortiz, D. (2011). *Páramo.Paisaje estudiado,habitado,manejado e institucionalizado*. Quito: Abya Yala.
- Mena, P., Josse, C., & Medina, G. (2000). *El Páramo como fuente de recursos hídricos*. Quito: Abya Yala.
- Mena, P., Morales, M., Ortiz, P., Ramón, G., Silvana, R., Suárez, E., . . . Velásquez, C. (2008). *Gente y ambiente de páramo: Realidades y perspectivas en el Ecuador*. Quito: Abya Yala.
- Méndez, V., & Monge, J. (2003). *Costa Rica: historia natural*. Costa Rica: EUNED.
- Mojica, I. (10 de Febrero de 1978). <http://books.google.com.ec>. Recuperado el 20 de enero de 2014, de Criterios para intervenir y ordenar las cuencas hidrográficas: <http://books.google.com.ec/books?id=XNAOAQAIAAJ&pg>
- Palau, A. (1994). Recuperado el 16 de febrero de 2014, de Los mal llamados caudales “ecológicos”. Bases para una propuesta de cálculo: http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/op/28/op28_8.htm
- Poff, L., Allan, D., Bain, M., Karr, J., Prestegard, K., Richter, B., . . . Stromberg, J. (1999). The natural flow regime a paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47(11), 769-784.
- Rodríguez, E., Pinilla, G., Camacho, L., Medina, M., Ramírez, A., & Bernal, E. (30 de Octubre de 2007). *Metodología para la estimación del caudal ambiental en proyectos licenciados* . (U. N. Colombia, Ed.) Bogotá, D.C, Colombia.
- Rodríguez, M., Alvarez, S., & Bravo, E. (2001). *Coeficientes de asociación*. México: Plaza y Valdes.
- Roldán, G., & Ramirez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Bogotá: Universidad de Antioquia.
- Sánchez, M., & Carvacho, L. (2011). Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia . *Revista de geografía norte grande*, 171-186.
- Sánchez, R. (16 de Julio de 2013). Evotranspiración. (P. Carrasco, Entrevistador) Quito, Pichincha, Ecuador.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). Manejo de cuencas hidrográficas. *Manual 9*.
- Sheng, T. (1992). *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: estudio y planificación de cuencas hidrográficas*. Roma: Food & Agriculture Org.

- Thornthwaite, C., & Holzman, B. (Mayo de 1942). Measurement of evaporation from land and water surfaces. *Technical Bulletin N° 817*. Washington, D.C., United States.
- Triola, M. (2004). *Estadística*. México: Pearson Educación.
- Turcotte, P., Medina, L., Díaz, C., & Peralta, A. (2000). Metodologías aplicadas para el manejo y conservación de los páramos con énfasis en el recurso agua: La experiencia de ETAPA. En P. Mena, C. Josse, & G. Medina, *El Páramo como fuente de recursos hídricos* (págs. 7-14). Quito: Abya Yala.
- UNESCO. (1982). *Métodos de cálculo de balance hídrico*. España: Centro de Estudios Hidrográficos de España.
- UNESCO. (2006). *Evaluación de los recursos hídricos: Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas*. Montevideo, Uruguay: MASTERGRAF SRL.
- Vélez, J., & Ríos, L. (23 al 25 de Junio de 2004). Eventos extremos mínimos en regímenes de caudales: Diagnóstico, modelamiento y análisis. *Seminario internacional*. Medellín, Antioquia, Colombia: Escuela de Geociencias y Medio Ambiente: Universidad Nacional de Colombia.
- Vilchez, G. (Diciembre de 2010). Sistematización y seguimiento de aplicación de metodología de determinación del caudal ecológico en cuencas hidrográficas en el marco de las acciones de seguimiento e intervención. 30. Perú.
- World Fund For Nature. (Octubre de 2010). *Agua.org.mx*. (J. O'Keeffe, & T. Le Quesne, Editores) Recuperado el 8 de enero de 2014, de Cómo conservar los ríos vivos: <http://www.agua.org.mx/h2o/>

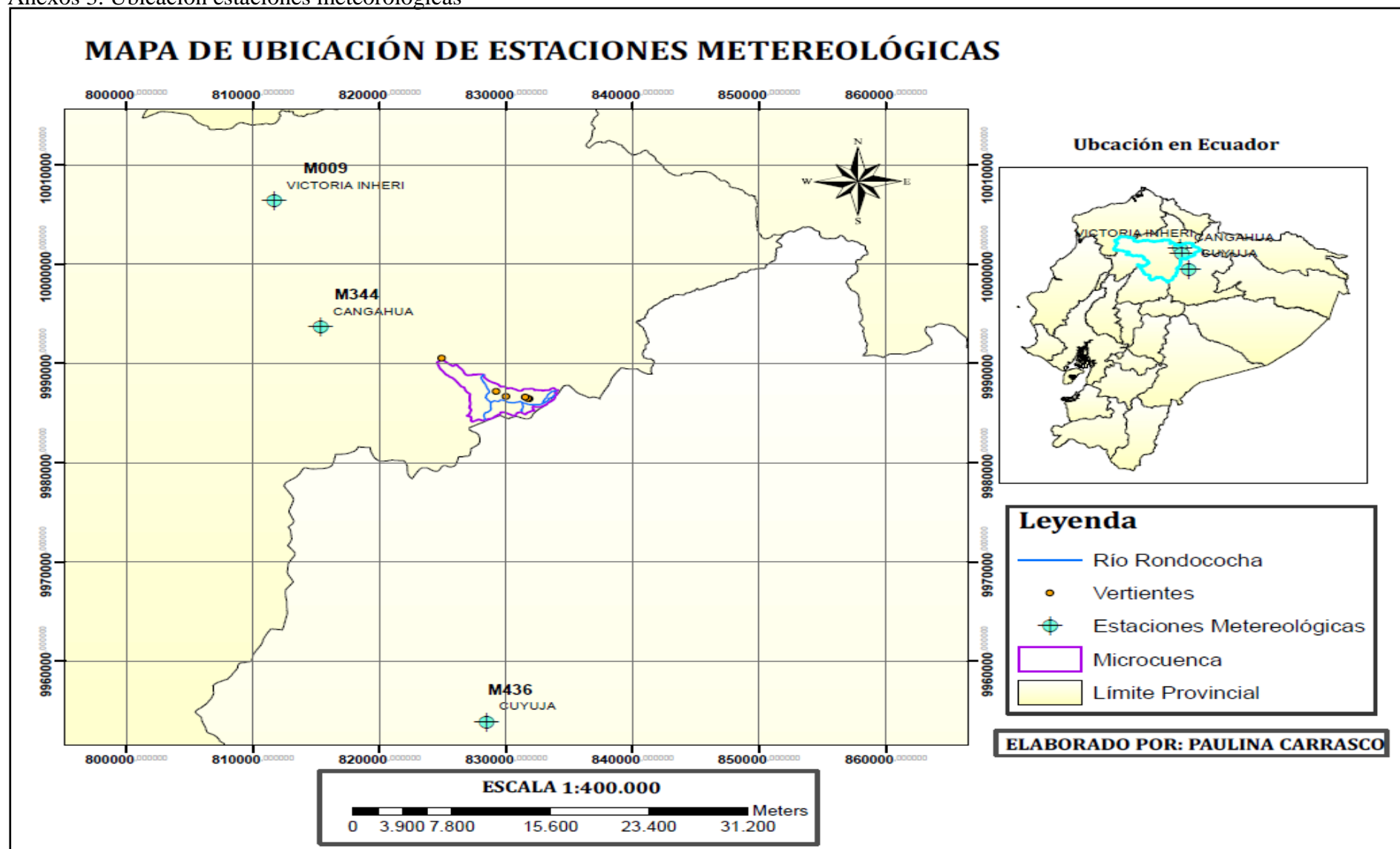
Anexos 1. Mapa ubicación geográfica de la zona de estudio.



Anexos 2. Mapa ubicación del proyecto de riego Pisambilla



Anexos 3. Ubicación estaciones meteorológicas



Anexos 4. Datos meteorológicos de precipitación para las estaciones M009, M344, y M436.

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (MM)													
SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS													
Nombre: Victoria Inheri							Longitud: 78G 12' 2" W						
Código: M009							Latitud: 0G 3 ' 36" S						
Periodo: 2003- 2012							Elevación: 2262,00 m.s.n.m.						
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	SUMA
2003	22,8	44,3	38,6	109,8	10,8	30,3	10,5	0,5	18,8	69,8	54,8	37,7	448,7
2004	24,7	14,6	30,7	45,5	70,9	2,7	5,2	0,1	42,6	54,1	50,2	39,2	380,5
2005	22	60,8	79,4	39,5	40,1	22,4	6,3	17,8	35,5	27,4	14,1	115,6	480,9
2006	37,2	61,3	116,2	130	38,8	42,9	3,8	5,4	7,2	50,3	156,7	120,3	770,1
2007	32,3	31,4	77,1	134,7	61,6	30,1	10,2	12,9	3,2	105,9	73	41	613,4
2008	54,1	82,4	112	109,2	92,5	33,8	3,2	27,3	29,7	104,4	37,5	41,3	727,4
2009	108,4	68,1	60,5	40,3	24,2	47,2	0,8	0	1,2	26	4,2	43,7	424,6
2010	12,1	26,6	24,4	93,7	87,3	40,2	48,4	6,2	50,8	21,1	78,8	111,6	601,2
2011	47,7	60,5	59,7	162,2	30,5	7,4	40,7	35	15,8	45,7	44,7	44,4	594,3
2012	65,2	55,3	54,6	82,8	8,1	17	2	3,7	18	21,2	54,6	17,5	400
Suma	426,5	505,3	653,2	947,7	464,8	274	131,1	108,9	222,8	525,9	568,6	612,3	5441,1
Promedio	42,65	50,53	65,32	94,77	46,48	27,4	13,11	10,89	22,28	52,59	56,86	61,23	544,11

Fuente: INAMHI

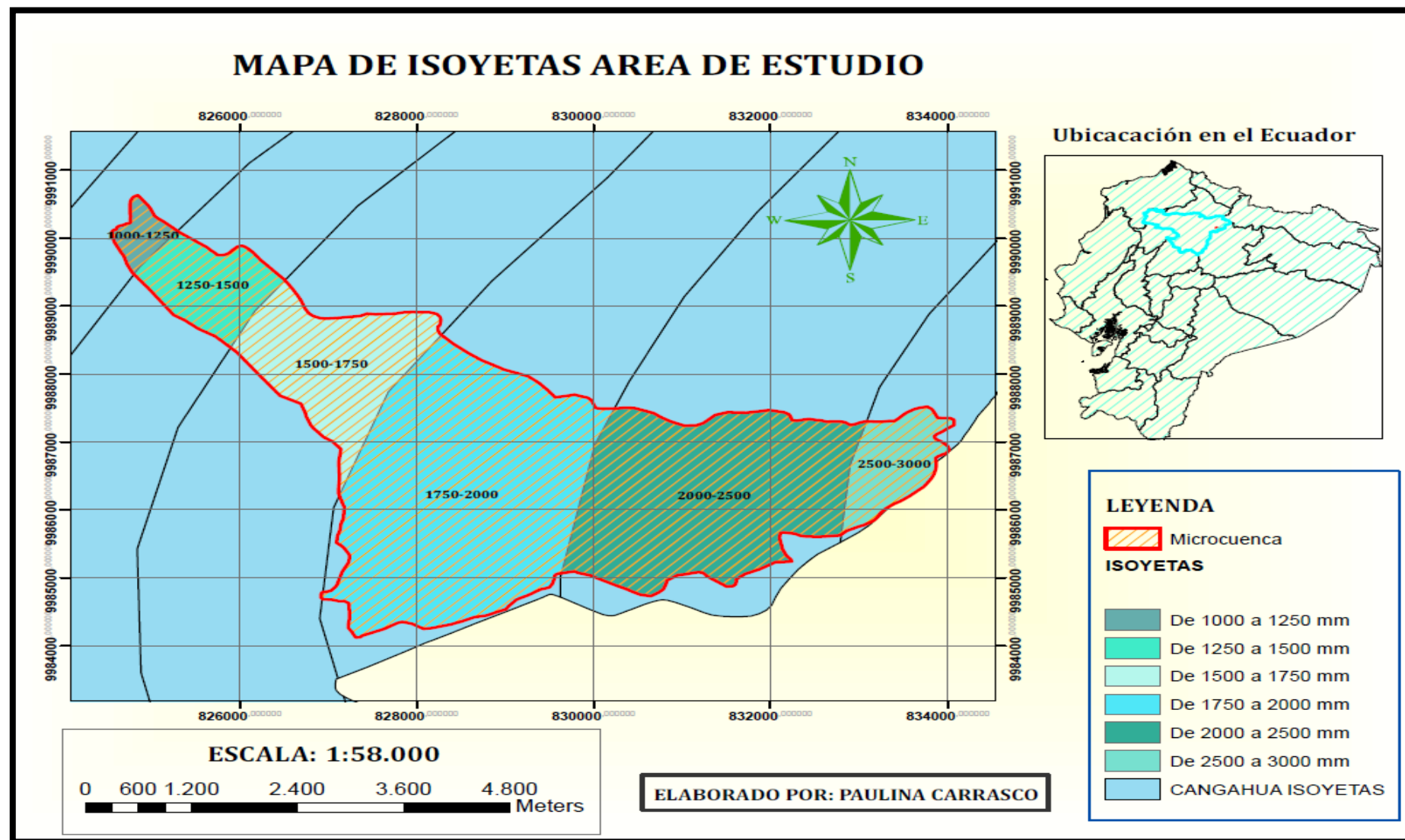
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (MM)													
SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS													
Nombre: Cangahua							Longitud: 78G 10' 2" W						
Código: M344							Latitud: 0G 3' 26" S						
Periodo: 2003- 2012							Elevación: 3140,00 m.s.n.m.						
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	SUMA
2003	37,20	97,00	69,60	93,30	56,20	32,60	24,60	0,00	30,20	34,20	86,20	36,00	597,10
2004	29,70	23,60	44,40	79,60	42,00	2,10	23,90	0,00	64,80	67,90	61,90	106,60	546,50
2005	29,00	72,15	86,83	59,30	37,60	0,00	10,10	0,00	18,30	74,10	61,90	105,30	554,58
2006	22,20	62,30	144,70	72,90	15,50	65,70	4,90	9,90	4,40	72,40	140,80	141,90	757,60
2007	25,00	15,50	108,10	114,60	48,10	48,60	30,60	13,60	6,30	107,00	46,40	61,20	625,00
2008	84,10	129,90	108,20	121,70	103,60	8,10	0,00	18,90	22,30	131,20	36,40	133,10	897,50
2009	81,50	39,30	46,90	54,70	9,80	5,10	15,64	0,00	0,00	34,80	143,24	5,40	436,38
2010	21,60	12,00	10,20	73,80	139,89	0,00	26,40	126,51	94,38	65,32	81,57	217,80	869,48
2011	33,90	155,57	167,42	76,03	129,76	151,46	156,62	136,93	16,50	61,80	77,20	93,80	1256,98
2012	9,32	58,10	73,30	106,80	7,50	19,70	15,64	0,00	0,00	7,50	33,40	0,00	331,26
Suma	373,52	665,42	859,65	852,73	589,95	333,36	308,40	305,83	257,18	656,22	769,01	901,10	6872,37
Media	37,35	66,54	85,97	85,27	58,99	33,34	30,84	30,58	25,72	65,62	76,90	90,11	687,24

Fuente: INAMHI

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (MM)													
SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS													
Nombre: Cuyuja							Longitud: 78G 2' 58" W						
Código: M436							Latitud: 0G 25' 0" S						
Periodo: 2003- 2012							Elevación: 2380,00 m.s.n.m.						
AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	SUMA
2003	76,39	73,00	78,41	83,38	91,91	104,80	159,70	70,70	97,30	92,50	108,80	101,00	1137,88
2004	41,00	83,70	170,40	131,90	208,00	191,50	161,00	122,40	70,80	97,20	87,50	83,90	1449,30
2005	44,60	98,70	139,40	111,77	81,13	82,50	69,37	69,90	70,51	84,99	120,74	108,51	1082,12
2006	78,94	78,64	94,00	113,35	88,79	210,90	79,30	122,80	125,40	82,10	138,30	82,50	1295,02
2007	71,50	52,50	206,20	215,70	162,90	262,30	111,10	140,30	101,50	92,50	148,20	142,10	1706,80
2008	97,10	130,20	115,80	191,50	186,50	190,00	162,90	141,10	131,00	152,90	80,20	133,30	1712,50
2009	199,10	116,10	59,10	182,90	159,90	176,10	154,10	151,40	78,00	99,80	91,00	85,70	1553,20
2010	55,30	112,10	144,10	134,00	154,20	225,90	115,60	128,00	79,20	90,60	153,00	265,80	1657,80
2011	82,50	111,90	79,70	160,70	149,50	216,70	192,90	135,50	101,90	71,50	88,50	231,00	1622,30
2012	131,40	165,90	178,30	82,70	138,90	161,60	167,00	146,40	49,20	81,40	81,40	77,60	1461,80
Suma	877,83	1022,74	1265,40	1407,90	1421,73	1822,30	1372,97	1228,50	904,81	945,49	1097,64	1311,41	14678,72
Media	87,78	102,27	126,54	140,79	142,17	182,23	137,30	122,85	90,48	94,55	109,76	131,14	1467,87

Fuente: INAMHI

Anexos 5. Mapa de Isoyetas de la zona de estudio.

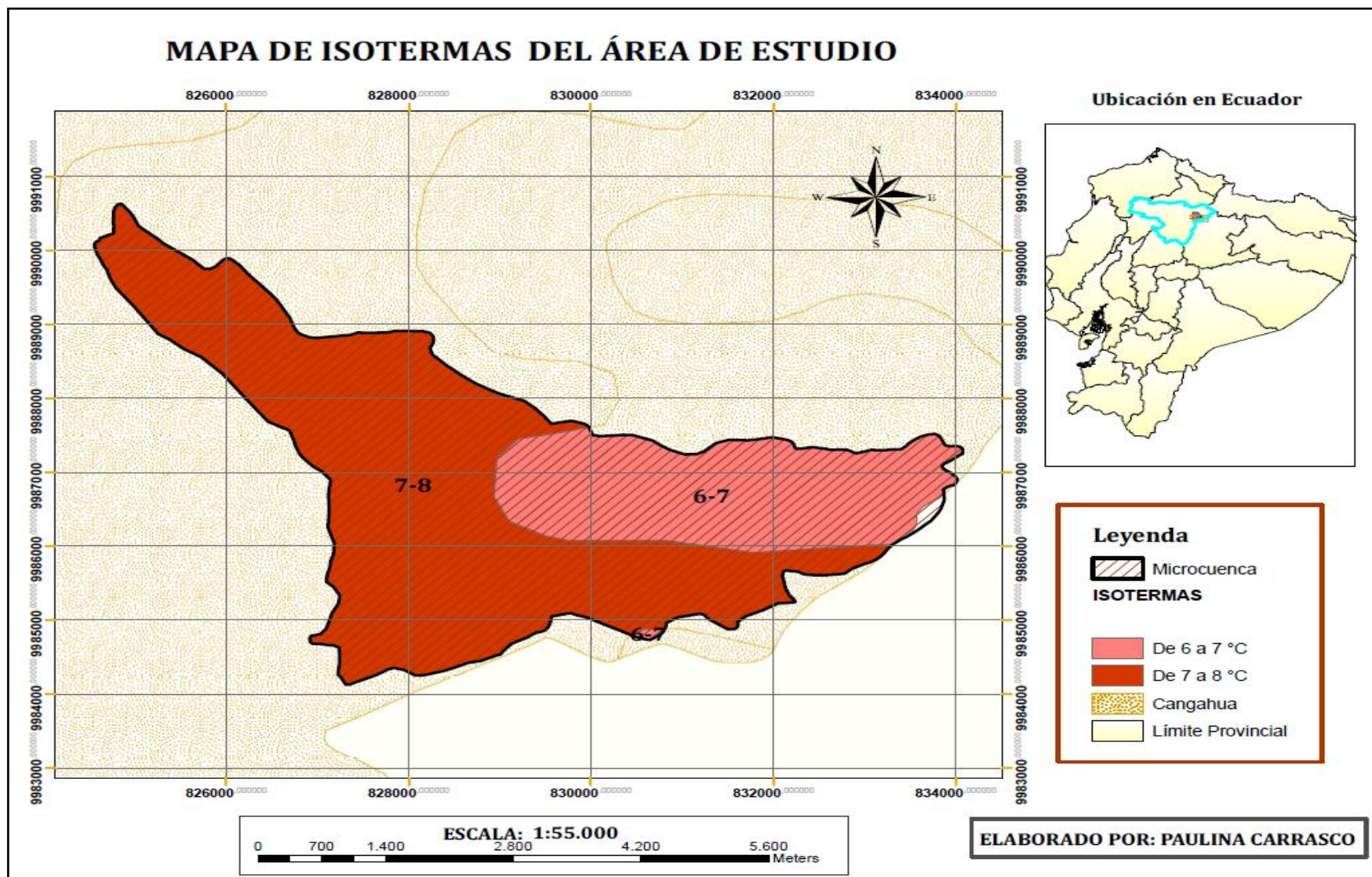


Anexos 6. Temperatura media mensual estación Victoria Inheri

TEMPERATURA TOTAL MENSUAL (°C)													
SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS													
Nombre: Victoria Inheri							Longitud: 78G 12' 2" W						
Código: M009							Latitud: 0G 3 ' 36" S						
Periodo: 2003- 2012							Elevación: 2262,00 m.s.n.m.						
Año	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIMBRE	SUMA
2003	18,20	18,60	17,90	18,00	18,10	17,20	17,50	18,10	18,10	18,10	17,70	17,60	215,10
2004	18,00	17,50	18,60	18,00	17,80	17,70	17,30	17,80	17,50	17,80	18,10	18,00	214,10
2005	17,80	17,80	17,10	18,00	17,90	17,40	17,40	17,70	17,40	17,50	17,70	16,50	210,20
2006	17,00	17,60	17,10	17,40	17,60	17,10	16,90	17,70	17,30	17,50	17,00	17,40	207,60
2007	17,60	17,40	17,30	16,80	17,30	16,50	17,10	16,90	17,20	17,10	16,80	16,70	204,70
2008	17,10	16,20	16,40	16,80	16,70	16,60	16,40	16,70	17,20	16,70	16,90	17,00	200,70
2009	16,60	16,60	17,40	17,60	17,60	17,20	17,10	17,50	17,60	17,80	18,30	18,10	209,40
2010	18,10	18,50	18,30	18,00	18,00	17,00	16,60	17,00	16,90	17,60	16,50	16,20	208,70
2011	16,70	17,10	17,00	16,60	17,50	17,00	16,70	17,30	17,30	16,70	17,10	16,60	203,60
2012	16,40	16,30	17,40	16,80	16,90	17,30	17,90	17,60	17,80	17,40	17,00	16,90	205,70
Suma	173,50	173,60	174,50	174,00	175,40	171,00	170,90	174,30	174,30	174,20	173,10	171,00	2079,80
Promedio	17,35	17,36	17,45	17,40	17,54	17,10	17,09	17,43	17,43	17,42	17,31	17,10	17,33

Fuente: INAMHI

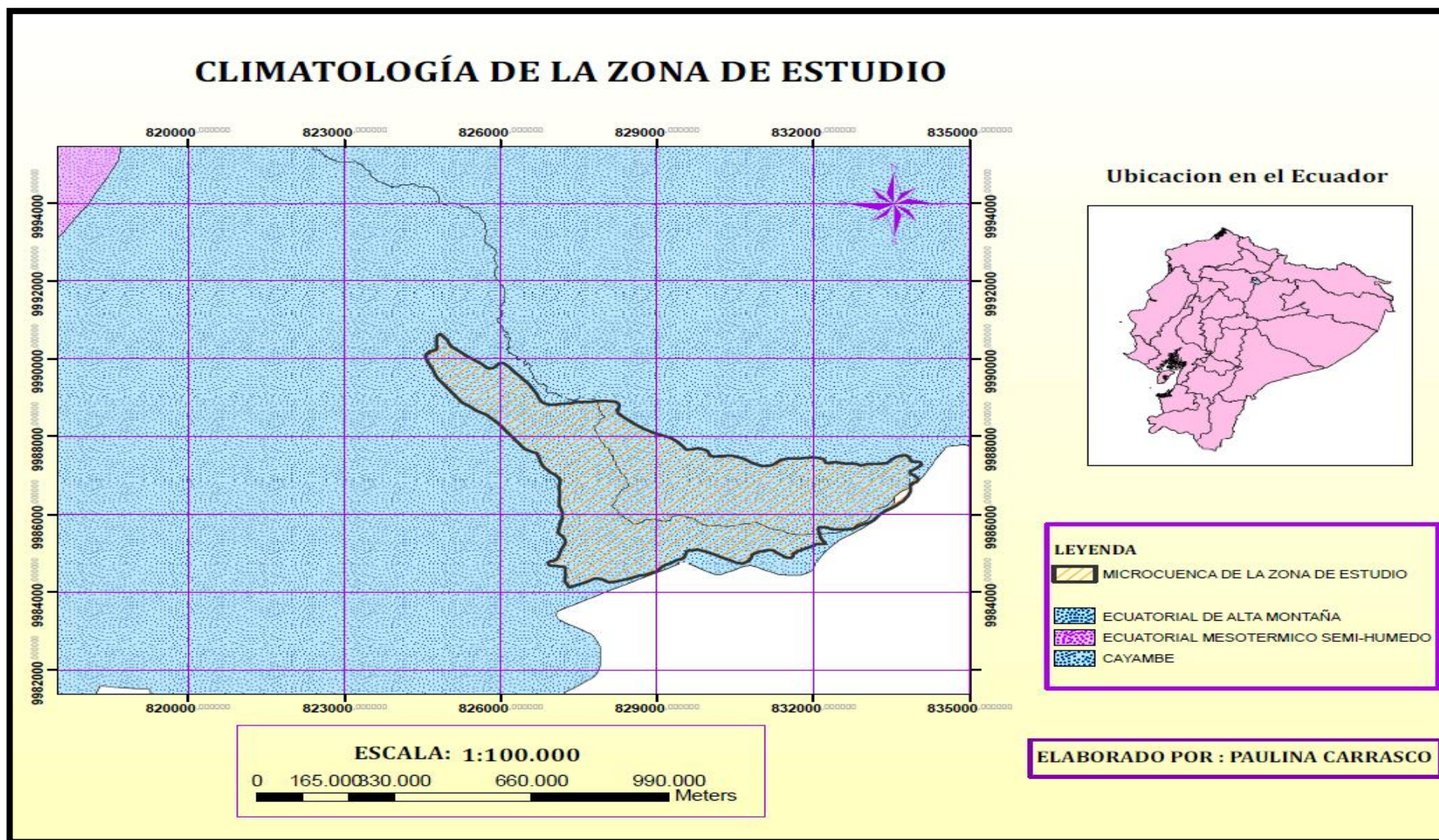
Anexos 7. Mapa de Isotermas en la zona de estudio

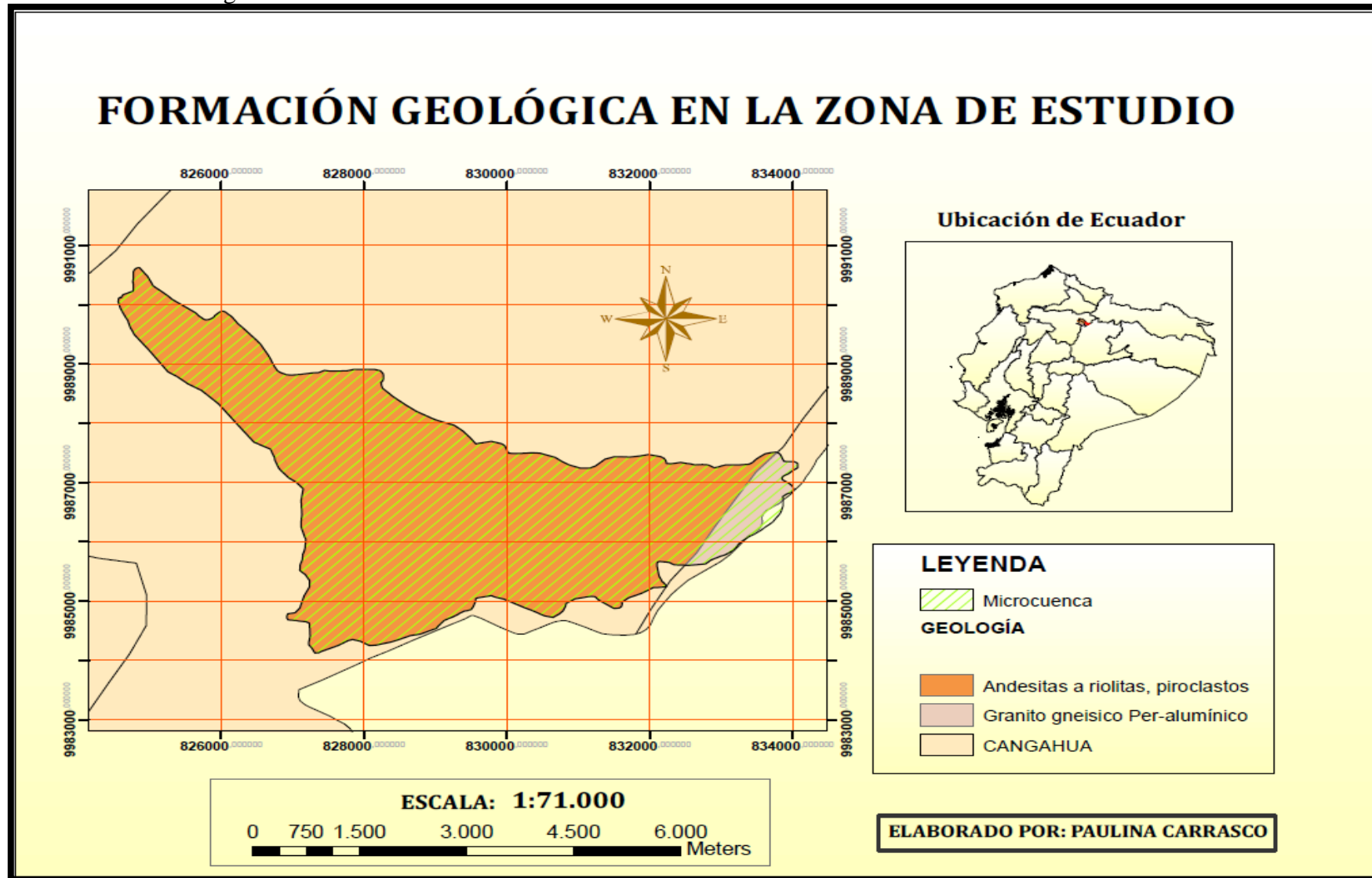


Anexos 8. Mapa de la red hidrográfica en la zona de estudio.

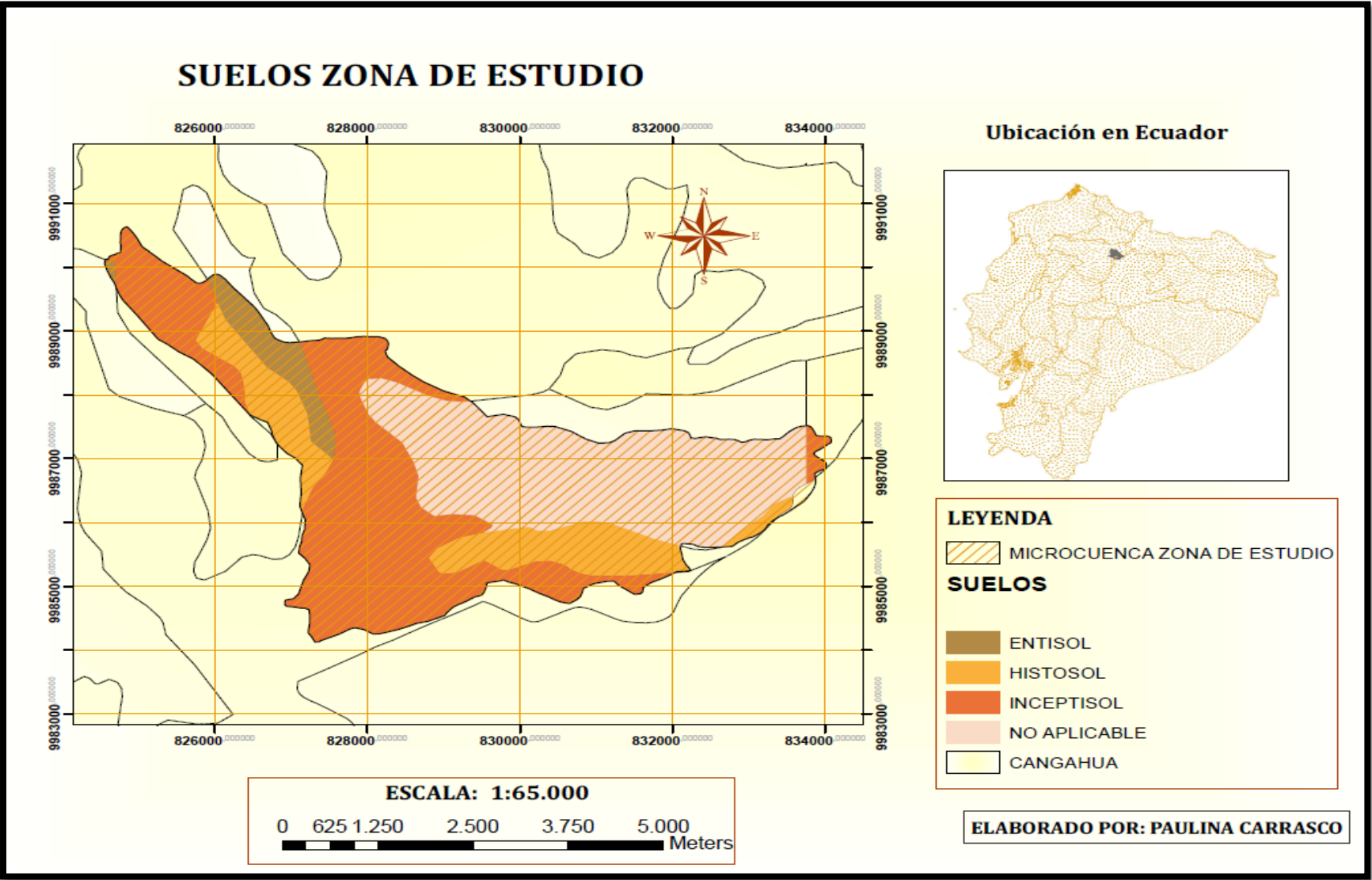


Anexos 9. Climatología de la zona de estudio.

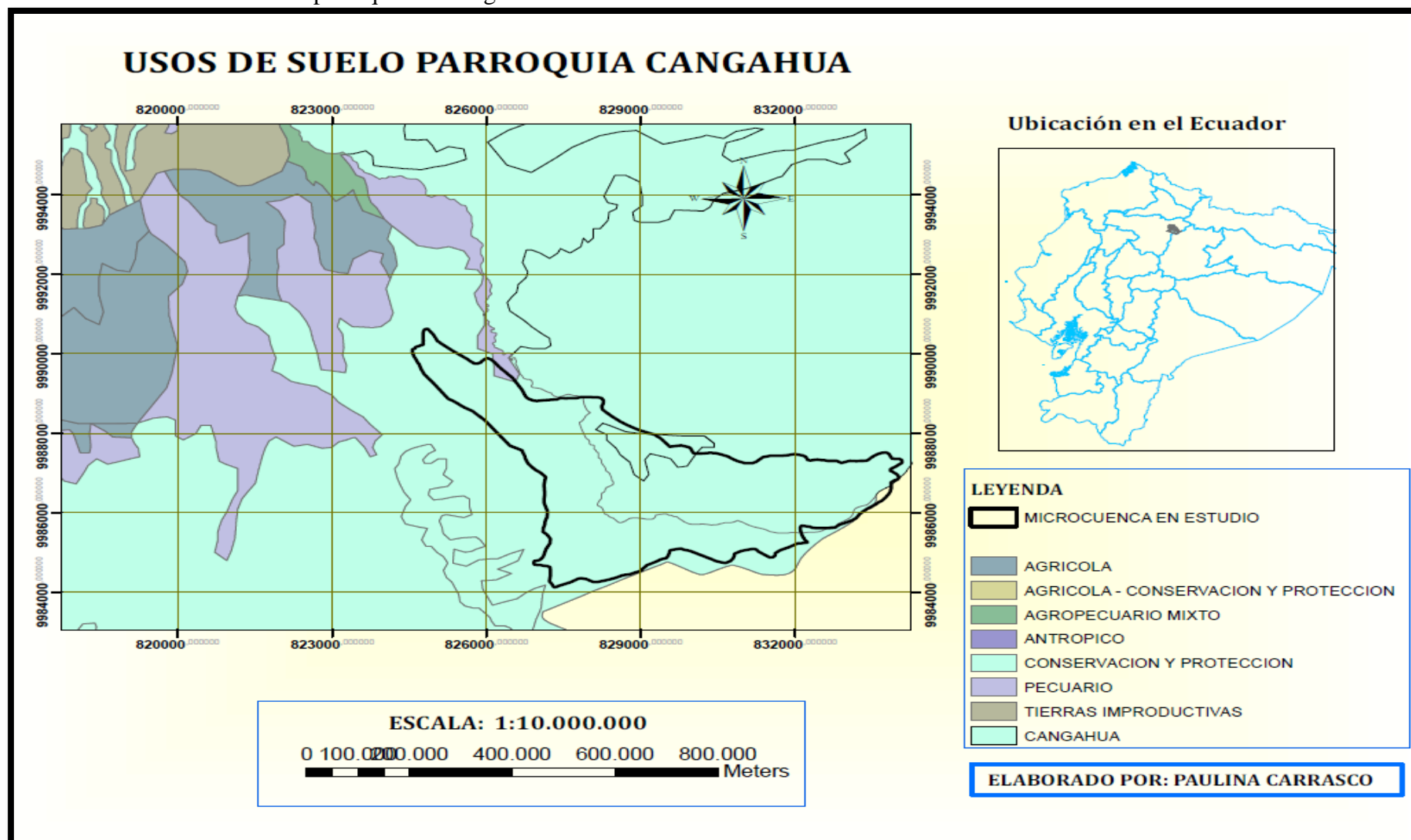




Anexos 11. Litología de la zona de estudio.



Anexos 12. Uso de suelo en la parroquia de Cangahua



Anexos 13. Zona ecológica en la zona de estudio

